

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

№ 2 (2024)

ПАВЛОДАР

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

СВИДЕТЕЛЬСТВО

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

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

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

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/>

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

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

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

**МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING**

**Abzalova D. A., Ibragimova Z. A., Myrzaliyev D. S.,
Almukhanov M. A., Mamekova S. K.**

Research on increasing the durability
of paint coatings for agricultural machinery

Buzauova T. M., Lasch K. B., Musagul O. B., Sarsengaliyeva G. K.

Results of dynamic modeling and experimental
studies of the plasma machine drive

Otegen D. A., Tanzharykov P. A., Suleimenov N. S.

Design and development of ball traction drive system

Барзов А. А., Сеина Я. Д., Муканов Р. Б., Игнатъев М. С., Альпеисов А. Т.

Определение потенциала результативности научно-квалификационного
исследования технологического профиля на этапе его планирования

Басқанбаева Д. Ж., Елемесов Қ. К., Мырзақұлов М. К.,

Сарыбаев Е. Е., Аубакирова Н. К.

Салалық машина жасауда композиттік
материалдарды қолдану туралы мәселесі

Букаева А. З., Поветкин В. В., Табылов А. У.,

Мамбеталиева Г. С., Рзаева К. С.

Блокты тасты кесуге және өңдеуге арналған термиялық құралдарды талдау

Искаков Р. М., Гуляренко А. А., Әбілжанұлы Т.,

Ремшев Е. Ю., Хан В. А.

Системный анализ конструкции дисковых ножей шредера

Луб Т. Л., Касенов А. Ж., Мусина Ж. К.,

Янюшкин А. С., Мусина Л. Р.

Обоснование геометрических параметров режущей

пластины ротационного безвершинного поворотного токарного резца

Шеров К. Т., Тусупова С. О., Кузьминова Н. Ю.,

Махмудов Л. Н., Айнабекова С. С.

Исследование износа твердосплавных режущих пластин в процессе
высокоскоростного фрезерования труднообрабатываемых материалов

**МЕТАЛЛУРГИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ
METALLURGY**

**Aubakirov A. M., Tolymbekova L. B., Kaliakparov A. G.,
Temirtas Kh. B., Khoshnaw F.**

Research of moisture capacity and the process of water saturation of a special coke

**Вукон Р. О., Куандыков А. В., Чаикин В. А.,
Суундикон М. М., Жунусов А. К.**

Thermodynamic modeling of flux refining of primary aluminum in a bucket

**Койшина Г. М., Жолдасбай Е. Е., Тажиев Е. Б.,
Даруеш Г. С., Досмухамедов Н. К.**

Распределение цинка и свинца между продуктами высокотемпературного спекания клинкера с хлоридом кальция

Куликов В. Ю., Байбеков Ш. С., Жолдубаева Ж. Д.

Вариативті қысымды қолдану арқылы қабық пішіндерінің механикалық және технологиялық қасиеттерін арттыру

**Ногаев К. А., Ашкеев Ж. А., Абишкенов М. Ж.,
Ахметова Г. Е., Камаров А. У.**

Моделирование эволюции микроструктуры стали при прокатке со сдвигом в калиброванных валках

**Нурумғалиев А. Х., Жүнісқалиев Т. Т., Каган Б.,
Тушиев Т. Р., Мыңжасар Е. А.**

Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын

балқыту процесін термодинамикалық модельдеу

**КӨЛІК
ТРАНСПОРТ
TRANSPORT**

Zhandarbekova A., Murzabekova K.

Problems of ensuring the safety of passenger transportation in the city of Astana

**Балабаев О. Т., Рожков А. В., Аскаргов Б. Ш.,
Қасымжанова А. Д., Бейсембаев Д. М.**

К вопросу определения предельных нагрузок при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м)

**Каббасов Б. Д., Зарипов Р. Ю., Абишев К. К.,
Павлюк В. И., Егоров В. Н.**

К вопросу эксплуатации автомобилей с газобаллонным оборудованием в зимний период

Кульчицкий А. Р.

Учёт подвижности реакции окисления азота при диффузионном горении

**Мурзахметова У. А., Алшынова А. М., Қабашев А. Р.,
Қабашева М. Р., Изембаева А. Қ.**

Қарқынды деформацияланған күйімен қалпына келтірумен иінді-біліктің сапасын арттыру

**Даньярова А. С., Тогизбаева Б. Б., Сазамбаева Б. Т.,
Забиева А. Б., Кенесбек И. Б.**

Оценка эффективности конструкций быстросъемного механизма для ковшей экскаваторов: сравнительное исследование

**ҚҰРЫЛЫС
СТРОИТЕЛЬСТВО
CONSTRUCTION**

**Sharapiden A. Z., Alimova A. H., Meneulyuk A. I.,
Tyulubaev R. A., Kozhan I. K.**

Using epoxy resin coating to improve the properties of textiles

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

Абжанова А. С., Котов Е. С.

Прогнозирование пожаров на складах ГСМ: регрессионный анализ факторов влияния

Нуралиев Ә. А., Усенов С. А., Мухтаров А. К.

Сумен жабдықтау жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру

Авторлар туралы ақпарат	292
Авторларға арналған ережелер	315
Жарияланым этикасы	325
Сведения об авторах	292
Правила для авторов	315
Публикационная этика	325
Information about the authors	292
Rules for authors	315
Publication ethics	325

ISTIS 55.22.23

**D. A. Abzalova¹, *Z. A. Ibragimova¹, D. S. Myrzaliyev¹,
M. A. Almukhanov², S. K. Mamekova¹**

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, Shymkent;

²A. Myrzakhmetov Kokshetau University, Republic of Kazakhstan, Kokshetau;

*e-mail: Zaure_1983_as@mail.ru

RESEARCH ON INCREASING THE DURABILITY OF PAINT COATINGS FOR AGRICULTURAL MACHINERY

The protection durability and effectiveness with paints and varnishes is largely determined by the surface preparation quality before painting. The labor-intensive work is surface preparing for applying paint and varnish coatings. The cost of surface preparing for painting can amount to 30–50 % of the painting work's total cost, and in some cases even exceed the painting cost. Rust converters are becoming increasingly recognized in the equipment's anti-corrosion protection practice. Their use makes it possible in some cases to simplify the technology of coloring, reduce labor intensity, improve working conditions, prevent environmental pollution, increase the durability of paint coatings and reduce their consumption. One of the promising types of raw materials for the development of a new rust converter is gossypol resin, which is a large-tonnage waste from the oil and fat industry. The problem of increasing the reliability and durability of structures, equipment and various equipment in the engineering industry has acquired particular relevance at the present stage of production development. For this aim, we have developed a rust converter composition based on gossypol resin. The subject of the study was the regularity and change in the process of restoration and application using a rust converter primer to increase the durability of metal structures of industrial equipment in the machine-building industry and agricultural technology. Conducting scientific research in the direction of expanding the range of rust converters to protect equipment from corrosion is an urgent and practical task.

Keywords: gossypol resin, agricultural machinery, corrosion, rust converter, coatings, environment.

Introduction

World development's modern macroeconomic conditions dictate new rules and open up broad horizons for the domestic agricultural industry's development.

Metal consumption's large volumes and metal structures' harsh operating conditions of production equipment and agricultural machinery make the problem of increasing equipment and machinery's durability one of the central problems that determine growth rates and technical and economic efficiency.

Agricultural machinery's corrosion is a significant problem in mechanical engineering. Metal and equipment parts are subject to destruction due to external environment's exposure, and the metal loses its strength. Agricultural machinery operates in specific conditions - under the influence of unfavorable external factors, snow, rain, wind, soil moisture, and is exposed to salts and other chemical compounds. Anti-corrosion coatings for equipment are developed and applied taking into account the influence of all negative external factors. According to the destruction type, corrosion can be atmospheric, soil, or internal. Since the damage impact can be different, the protection methods also differ. The necessary protection of equipment from corrosion is selected for each equipment piece based on its specific functions and operating conditions. The choice of method for protecting agricultural machinery from corrosion is also influenced by economic efficiency.

Types agricultural machinery's protection from corrosion are: barrier protection, which should provide a high degree of adhesion of paint or enamel to the surface; surface passivation achieved by using phosphating enamels and primers, as well as compositions with inhibitors that slow down or stop corrosion; protective materials containing various fillers that are more resistant to corrosion than the protected surface [1–2].

There are various wear and tear problems of machinery and equipment in agriculture that need to be addressed in order to extend their service life. Equipment used in different applications is subject to different types of wear caused by different types of materials under certain operating conditions. The economic feasibility of restoring parts is determined primarily by the possibility of repeated and repeated use of worn parts. Thus, there is an urgent need to find ways to increase the machine units' post-repair life.

The problem relevance of the metals' anti-corrosion protection is based on the need to protect the environment, conserve natural resources, as well as the metal structures' rational use and storage in production conditions. Corrosion studies are influenced by resource-saving, technological and factors. It is estimated that annually 20-25 million tons of metal are lost irretrievably due to corrosion [3]. Metal products protection from corrosion can be carried out using non-metallic coatings, which protect the metal from contact with moisture, serve as an insulating layer and ensure product's attractive appearance. There are several types of non-metallic coatings: paints, varnishes, polymers, putties, rust converters, etc.

However, the most convenient to use is the «three in one» anti-corrosion enamel. This anti-corrosion coating contains a rust converter, an anti-corrosion primer and a protective coating. This composition can be applied directly to a surface covered with rust, after removing loose rust before application. Rust converter is a universal anti-corrosion coating for metal that can be used for both interior and exterior use.

Among the various options for anti-corrosion coatings for protecting agricultural machinery from corrosion are rust converters developed on the basis of oil and fat industry waste. The need to carry out this work is due to modern requirements for solving the problem of finding accessible raw materials to obtain effective and cheap rust converters to protect production equipment and agricultural machinery from corrosion in aggressive environments. Therefore, improving the technology and equipment for

applying and restoring paint and varnish coatings to protect against corrosion during the repair of production equipment and agricultural machinery is currently an urgent task in the repair industry.

Materials and methods

A method for a general quantitative assessment of a rust converter based on gossypol resin and a rust converter in combination with paint and varnish coating of industrial equipment's metal structures, machine parts and agricultural machinery, consisting of individual indicators' assessments describing different coatings' properties is proposed in this article. Thus, when choosing a test program, the same quality indicator is assessed using different methods. The applicability of this approach is due to the fact that the same types of damage can be a consequence of different causes and operating conditions. Various methods were used to study the protective properties of a rust converter in combination with paint and varnish coatings in accordance with GOST [4,5,13], namely: determination of coating adhesion - coating adhesion was determined in accordance with the international standard ISO 2409:2013, by the method of transverse coating cuts using the Elcometer 107 adhesion tester; determination of the coating roughness - the coating roughness was determined on a Mitutoyo SurfTest SJ-310 profilometer by scanning using a probe with a diamond tip in accordance with the standard for determining roughness parameters ISO 2632-1-85, ISO2632-2-85 and GOST 9378-93. Roughness is surface's main geometric characteristics and significantly affects not only the coatings' appearance, but also their wear resistance, corrosion resistance, antifriction properties and others; determination of the coating surface's morphology and topography - the study of the coatings surface's morphology and topography was carried out using a metallographic aggregate microscope of EC METAM RV-21/22 series, designed for metals microstructure's visual examination, alloys and other opaque objects in reflected light under direct illumination in light and dark field, as well as for studying objects in polarized light and the differential interference contrast method; heat resistance determination - the ISO 3248 standard uses an empirical method to describe the assessment of the paint and varnish coatings' resistance under the gradual increase in temperature condition. This standard is used for paint and varnish materials intended for application to car parts, household heating radiators, and other products subject to heating under operating conditions;

We used various methods to study the rust converter's protective properties based on gossypol resin in accordance with GOST, namely: determination of the gel fraction (dry residue) depending on the curing time in accordance with GOST 31939 - 2012 (ISO 3251:2008); coatings' physical and mechanical properties in accordance with GOST; coatings' chemical resistance in accordance with GOST 9.401-2018 in aqueous, acidic and alkaline environments, etc.

Results and discussions

Laboratory and field experiments were carried out using rust converters based on gossypol resin and rust converter in combination with paint materials used in engineering industry for painting metal structures of production equipment to confirm and test theoretical foundations proposed in this work [6].

Two types of coatings were studied: rust converters based on gossypol resin and rust converter in combination with paint materials. The experiment made it possible to formulate and substantiate recommendations on technology improvement for applying rust converter in the production and repair of engineering equipment. Due to ever-increasing rate in all industries, the number of production equipment and agricultural machinery operating in aggressive environments is increasing. Study the durability of mechanical engineering equipment exposed to aggressive environments is one of the main tasks. It is necessary to take measures to reduce or eliminate aggressive effects on structures to increase the durability of machine parts. Required durability of machine parts in the presence of aggressive influences can be ensured by using various protective coatings, which are divided into main types: paint, primer, filler, rust converter, etc. [7,8]. One of the main tasks is studying the durability of mechanical engineering equipment exposed to aggressive environments.

However, the durability and effectiveness of protection with paint materials is largely determined by the surface preparation quality before painting. Preparing the surface for applying paint coatings is labor-intensive work. The cost of surface preparation for painting can amount to 30–50 % of the total cost of painting work, and in some cases even exceed painting cost. In the practice of anti-corrosion protection of equipment, rust converters are becoming increasingly recognized. Their use allows to simplify painting technology, reduce labor intensity, improve working conditions, prevent environmental pollution, increase durability of paint coatings, and reduce the consumption of paint materials in some cases. Although the industry produces a relatively limited range of rust converters, the availability of raw materials makes it possible to increase production capacity of rust converters. In the process of production of cottonseed oil and fatty acids, depending on the technology and methods of allocate production capacity of rust converters.

One of the promising types of raw materials for the development of new rust converter is gossypol resin and soap stock, which is a large-scale waste of oil and fat industry [9,10]. Theoretical basis of creating rust converter based on gossypol resin is its ability to form complex compounds with metals and in particular, with iron oxides and its compounds. We studied rust system in combination with rust converter. The effect of rust converter on the phase composition of corrosion products was determined by X-ray diffraction analysis. Phase composition of rust was determined using a DRON-3 diffractometer. X-ray images taken from these surfaces were interpreted only for substances that produce rust.

The following modifications of iron hydroxides and oxides, the structure of which corresponds to minerals, were identified: γ -FeOOH – lepidocrocite; α -Fe₂O₃ - hematite; α -FeOOH - goethite; Fe₃O₄ - magnetite. From X-ray diffraction analysis it follows that when rust converter based on gossypol resin interacts, protective zone is formed that prevents development of corrosion process. Rust converter based on gossypol resin is interesting and promising in that it is a means of protection through integrated using of raw materials and by-products on rusty surface of machinery and agricultural machinery. The use of rust converters makes by 1.5-3.0 times compared to manual cleaning and

painting directly on rusty surface, reduce labor intensity by 25-30% and improve sanitary and hygienic conditions of surface preparation work [11].

Further, protective properties of complex systems of chemical-resistant paint coatings in combination with developed rust converter based on gossypol resin were studied in various aggressive environments. Adhesive strength depends on structural features and chemical properties of paint coating. Tests were carried out in laboratory conditions at room temperature. Studies of chemical resistance of rust converter in various aggressive environments in accordance with GOST were carried out over long periods. The quality of coatings and their anti-corrosion properties were assessed using a four-point system, taking into account swilling. The results of chemical resistance of coatings based on rust converter (RC) and rust converter in combination with paint coatings are presented in Table 1. The obtained data suggest that corrosion resistance of coatings generally remained at a good level [12,14].

Table 1 – Chemical resistance of coatings based on RC and RC +CR-068

Coatings based on rust converter and rust converter in combination with paint coatings CB-068			
aggressive substance	concentration, %	testing time, days	CT resistance rating, point
H ₂ O	dist.	500	1
NaCl	3	210	1
NaOH	10	140	1
NaOH	20	120	1
H ₂ SO ₄	10	180	1-2
H ₂ SO ₄	25	140	1-2

The study of water absorption of coating films with a thickness of 80 microns was carried out in distilled water at 20°C in accordance with GOST. At the same time, the water absorption of rust converter system in combination with paint materials was studied on corroded surface (St. 3), covered with a uniform layer of corrosion products 35–45 microns thick, obtained as a result of exposing samples during 3 months. Corrosion products contain γ -FeOOH (85 %) and Fe₂O₃ (15 %), depending, other things being equal, on the influence of the corrosion rate on the adhesion interaction with substrate. The density of the resulting film shows that equilibrium absorption value characterizes the properties of rust converter on corroded surface to a large extent. Corrosion tests of samples were carried out in an ASCOTT Premium S120 iP salt fog chamber in accordance with GOST 9.401-91 and international standard ISO 9227, ASTM B117. Samples with applied RC were tested. The results of accelerated tests of coatings using rust converter (RC) are shown in Table 2.

As practice shows the following indicators must be monitored: complete drying, touch drying and dust drying in the mechanical engineering industry, in the production of transport vehicles and agricultural machinery, during the curing process of the rust converter in combination with paint coating. The influence of curing temperature, the nature of the solvent and molecular weight on internal stresses, as well as the relaxation of internal stresses during storage of coatings was studied.

Table 2 – Results of accelerated tests of coatings using rust converter

Name of rust converter	Salt fog chamber, hour.		Water, hour		3% NaCL solution, hour.	
	Beginning of destruction	End of destruction	Beginning of destruction	End of destruction	Beginning of destruction	End of destruction
Rust converter based on gossypol resin	260, notch corrosion	1300, corrosion from notch up to 1.5mm	2400, without changes	testing continues	1200, Isource of small bubbles	2200, Isource of small bubbles

Curve changes in internal stresses formed in the coating of rust converter based on gossypol resin during its formation (RC + CB-068 in a solvent mixture) are shown in Figure 1.

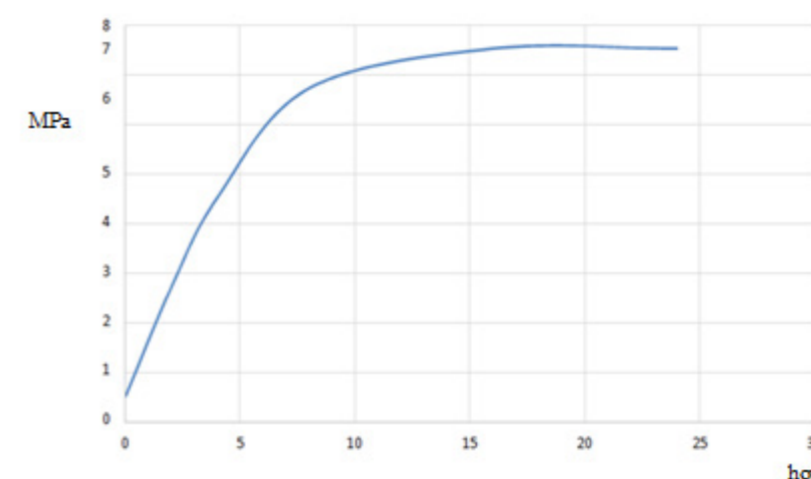


Figure 1 – Change of internal stresses in coatings based on RC + CR-068 + PEPA, cured at 20°C

The internal stresses in this coating reached constant value of 7 MPa after 6–10 hours of curing at 20°C and subsequently remained unchanged.

Establishment of analytical dependence between thickness of coating, stresses arising in the substrate, and internal stresses in coating is necessary for purpose of quantitatively studying internal stresses of rust converters in combination with paint materials.

Surface roughness based on rust converter and rust converter in combination with paint coatings was studied.

Roughness is one of main geometric characteristics of the surface and significantly affects not only the appearance of coatings, but also their wear resistance, corrosion resistance, antifriction properties, and others. The results are shown in Table 3 and Figure 2.

Roughness of paint coatings (roughness grade 10, microns). Measurements showed that paint coatings based on RC + CR-068 have lower roughness, corresponding to roughness grade 10 according to GOST 2789-73. Coatings based on RC + CR -068-PEPA have roughness grade 9. Preliminary phosphating has virtually no effect on the roughness of the paint coatings.

Table 3 – Surface roughness based on rust converter and rust converter in combination with paint coatings

Coatings	Ra	Rq	Rz	Rp	Rv	Roughness grade
RC (without coatings)	0,084	0,111	0,749	0,356	0,393	10
RC +CR-068	0,088	0,121	0,704	0,226	0,478	10
RC +CR -068+ PEPA with phosphated sublayer	0,080	0,103	0,467	0,287	0,180	9

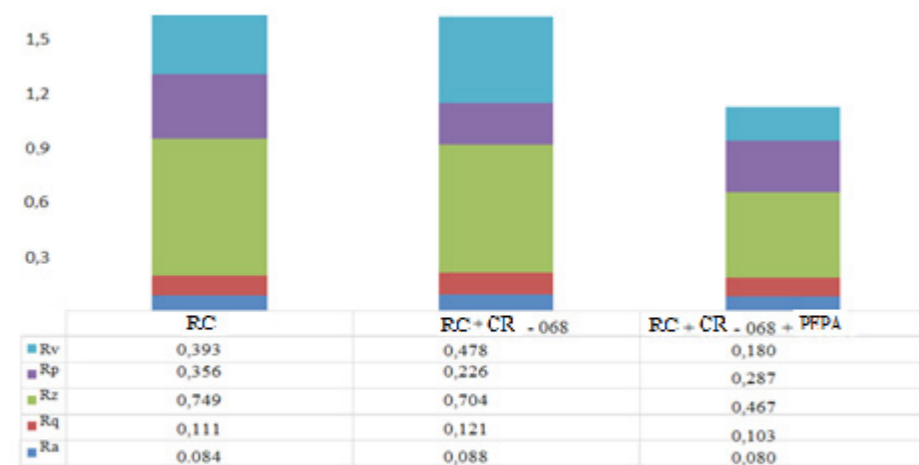


Figure 2 – Surface roughness based on rust converter and rust converter in combination with paint materials

From experimental studies it is obvious that physical, mechanical and protective properties of rust converter based on gossypol resin in combination with paint materials can be used to prepare corroded surfaces of metal structures of industrial equipment and agricultural machinery for painting to convert corrosion products to chemically resistant, water-insoluble compounds, firmly bonded to the metal surface.

Conclusion

1 Fundamentally new anti-corrosion material was developed based on products and industrial waste from local production. Rust converter based on gossypol resin is able to independently protect corroded steel from atmospheric corrosion, or serve as a primer layer for further painting using traditional painting materials.

2 The possibility of using developed composition to protect parts (assemblies) of machines and equipment from corrosion was established. Carrying out accelerated tests of paint coatings applied to painted surfaces of equipment made it possible to quickly quantify the coating’s quality, taking into account the influence of external operational factors that determine the protective ability of paint coatings, as well as the durability and reliability of painted equipment.

3 Physical, mechanical and protective properties of the developed rust converter in combination with painting materials can be used to prepare corroded surfaces of agricultural machinery for painting to convert corrosion products into chemically resistant water-insoluble compounds firmly bonded to the metal surface. The developed composition of the rust converter has positive properties, which is confirmed by test reports from M. Auezov SKU (in laboratory and industrial conditions), LLP «KARDANVAL», LLP «KARLSKRONA LC/AB».

REFERENCES

1 **Pchel'nikov, A. V., Korotkix, V. V., Ilyasov, A. P.** Povy'shenie dolgovechnosti zashhitny'x pokry'tij mashin i oborudovaniya APK nanomodificirovanny'mi lakokrasochny'mi materialami [Increasing the durability of protective coatings of machines and equipment of the agro-industrial complex with nanomodified paints and varnishes] [Text] // Bulletin of the Altai State Agrarian University. – 2021. – № 10 (204). P. 106–111. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-204-10-106-111.

2 **Rakovskaya, E. G., Kudryashova, O. A.** Primenenie modificirovannogo preobrazovatelya rzhavchiny' p-2 dlya zashhity' lesny'x mashin ot korrozii [Application of a modified rust converter p-2 to protect forestry machines from corrosion] [Text] // News of the St. Petersburg Forestry Academy – 2017. – № 221. – P. 309-323. DOI:10.21266/2079-4304.2017.221.309-323.

3 **Potapchik, A. N., Egorova, A. L.** Razrabotka metoda prognozirovaniya dolgovechnosti antikorrozionny'x lakokrasochny'x pokry'tij [Development of a method for predicting the durability of anti-corrosion paint and varnish coatings] [Text] // Proceedings of BSTU. Ser. 2, Chemical technologies, biotechnologies, geoecology.– 2021. – № 2 (247). – P. 175-186. DOI: 10.52065/2520-2669-2021-247-2-175-186.

4 **Franky, Bedoya-Lora [et al.]**. Electrochemical impedance study for modeling the anticorrosive performance of coatings based on accelerated tests and outdoor exposures [Text]. // Journal of Coatings Technology and Research. – 2016. – № 13(5). – P. 895-904. DOI: 10.1007/s11998-016-9803-7.

5 **Smirnova, O., Pichugin, A., Sebelev, I.** Research of pressed thermal insulation materials, based on organic waste. [Text]. // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. – Bristol.: 2020. – P. 953-960. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012051.

6 **Mohammad, A. Jafar Mazumder.** Global Impact of Corrosion: Occurrence, Cost and Mitigation [Text]. // Global Journal of Engineering Sciences. – 2020. – № 5. – P. 15-20. DOI:10.33552/GJES.2020.05.000618.

7 **Anur'ev, S. G.** Zashhita sel'skoxozyajstvennoj texniki ot korrozii [Protection of agricultural machinery from corrosion] [Text] // Young scientist. Kazan – 2017. – № 11.3 (145.3) – P. 57-59.

8 **Rathod, V., Kumar, J., Jain, A.** Polymer and ceramic nanocomposites for aerospace applications [Text]. // Appl Nanosci:2017. –P. 519-548. DOI.org/10.1007/s13204-017-0592-9.

9 **Abzalova, D. A., My'rzaliev, D. S.** Rol' modifikatora rzhavchiny' na osnove otxodov gidroliznoj i maslozhirovoj promy'shlennosti v obespechenii dolgovечности i rabotoposobnosti texniki [The role of a rust modifier based on waste from the hydrolysis and fat-and-oil industries in ensuring the durability and performance of equipment] [Text] // Scientific and technical journal «Kazakhstan Science News», No. 4, (147). – Almaty.– 2020. – P. 31–36.

10 **Abzalova, D. A., My'rzaliev D. S. i dr.** Sposoby' zashhity' razlichnoj texniki i oborudovaniya promy'shlennosti ot korrozii pri e'kspluatacii i xranenii [Methods of protecting various machinery and industrial equipment from corrosion during operation and storage] [Text] // Scientific and technical journal “Textile Industry Technology”, News of Higher Educational Institutions, Publishing House of Ivanovo State Polytechnic University. – 2021. – № 5 (395). – P. 28–33.

11 **Suxodolya, A. V.** Analiz riskov realizacii proektov na primere sovershenstvovaniya lakokrasochny'x pokry'tij sel'skoxozyajstvennoj texniki [Risk analysis of project implementation using the example of improving paint coatings for agricultural machinery] [Text] / Sciences of Europe. – Czech Republic. – 2017. – № 13. – T. 2. – P. 99–103.

12 Pat. 6934 Patent na poleznuyu model' MPK S09D5/12 (2006.01). Preobrazovatel' rzhavchiny' na osnove gossipolovoj smoly' [Pat. 6934 Patent for utility model MPK S09D5/12 (2006.01). Rust converter based on gossypol resin] [Text] / Abzalova, D. A., Myrzaliev D. S. and others : applicant and patent holder NJSC YuKU named after. M. Auezova – No. 2021/1179.2: application 30.12.2021; publ. opubl. 11.03.2022. Bull. № 10 – 4 p.

13 **Rassadina, T. V.** Instrumental'naya ocenka e'ffektivnosti ochistki metallicheskoj poverxnosti pered naneseniem lakokrasochny'x pokry'tij [Instrumental assessment of the effectiveness of cleaning a metal surface before applying paint and varnish coatings] [Text] // Industrial painting.// Promy'shlennaya okraska. – 2020. – № 2. – P. 43–44.

14 **Abdukarimov, M. M., Edgarov, N. [i dr.].** Antikorrozionny'e svojstva modificirovannoj gossipolovoj smoly' i ego kompozicionny'x pokry'tij [Anti-corrosion properties of modified gossypol resin and its composite coatings] [Text] // Universum

: technical sciences : – 2020. – № 7(76). – P. 85–89. – [Electronic resource]. – URL: <https://7https://7uni-versum.com/ru/tech/archive/item/9913>.

Received 01.03.2024.

Received in revised form 11.03.24.

Accepted for publication 11.04.2024.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Пчельников, А. В., Коротких, В. В., Илясов, А. П.** Повышение долговечности защитных покрытий машин и оборудования АПК наномодифицированными лакокрасочными материалами [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 10 (204). С. 106–111. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-204-10-106-111.

2 **Раковская, Е. Г., Кудряшова, О. А.** Применение модифицированного преобразователя ржавчины п-2 для защиты лесных машин от коррозии [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2017. – № 221. – С. 309-323. DOI:10.21266/2079-4304.2017.221.309-323.

3 **Потапчик, А. Н., Егорова, А. Л.** Разработка метода прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий [Текст] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 2 (247). – С. 175-186. DOI: 10.52065/2520-2669-2021-247-2-175-186.

4 **Franky, Bedoya-Lora [et al.].** Electrochemical impedance study for modeling the anticorrosive performance of coatings based on accelerated tests and outdoor exposures [Text] // Journal of Coatings Technology and Research. – 2016. – № 13(5). – P. 895–904. DOI: 10.1007/s11998-016-9803-7.

5 **Smirnova, O., Pichugin, A., Sebelev, I.** Research of pressed thermal insulation materials, based on organic waste. [Text] // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. – Bristol. : 2020. – P. 953–960. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012051.

6 **Mohammad, A. Jafar Mazumder.** Global Impact of Corrosion: Occurrence, Cost and Mitigation [Text] // Global Journal of Engineering Sciences. – 2020. – № 5. – P. 15-20. DOI:10.33552/GJES.2020.05.000618.

7 **Анурьев, С. Г.** Защита сельскохозяйственной техники от коррозии [Текст] // Молодой ученый. Казань. – 2017. – № 11.3 (145.3) – С. 57–59.

8 **Rathod, V., Kumar, J., Jain, A.** Polymer and ceramic nanocomposites for aerospace applications [Text] // Appl Nanosci: 2017. – P. 519-548. DOI: 10.1007/s13204-017-0592-9.

9 **Абзалова, Д. А., Мырзалиев, Д. С.** Роль модификатора ржавчины на основе отходов гидролизной и масложировой промышленности в обеспечении долговечности и работоспособности техники [Текст] // Научно-технический журнал «Новости науки Казахстана», № 4, (147). – Алматы. – 2020. – С. 31–36.

10 **Абзалова, Д. А., Мырзалиев Д. С. и др.** Способы защиты различной техники и оборудования промышленности от коррозии при эксплуатации и хранении [Текст] // Научно-технический журнал «Технология текстильной

промышленности», Известия высших учебных заведений, Издание Ивановского государственного политехнического университета. – 2021. – №5 (395). – С. 28–33.

11 **Суходоля, А. В.** Анализ рисков реализации проектов на примере совершенствования лакокрасочных покрытий сельскохозяйственной техники [Текст] / Sciences of Europe. – Чехия. – 2017. – №13. – Т. 2. – С. 99–103.

12 Пат. 6934 Патент на полезную модель МПК C09D5/12 (2006.01). Преобразователь ржавчины на основе госсиполовой смолы [Текст] / Абзалова, Д.А., Мырзалиев Д.С. и др.: заявитель и патентообладатель НАО ЮКУ им. М.Ауэзова – № 2021/1179.2: заявл.30.12.2021; опубл. 11.03.2022. Бюл. № 10. – 4 с.

13 **Рассади́на, Т. В.** Инструментальная оценка эффективности очистки металлической поверхности перед нанесением лакокрасочных покрытий [Текст] // Промышленная окраска. – 2020. – № 2. – С. 43–44.

14 **Абдукаримов, М. М., Едгаров, Н. [и др.]**. Антикоррозионные свойства модифицированной госсиполовой смолы и его композиционных покрытий [Текст] // Universum : технические науки : – 2020. – № 7(76). – С. 85-89. URL: <https://7https://7uni-versum.com/ru/tech/archive/item/9913>.

Д. А. Абзалова¹, *З. А. Ибрагимова¹, Д. С. Мырзалиев¹, М. А. Альмуханов², С. К. Мамекова¹

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

²А. Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

01.03.2024 ж. баспаға түсті.

11.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

11.04.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ТЕХНИКАСЫНЫҢ ЛАК-БОЯУ ЖАБЫНДАРЫМЕН БЕРІКТІГІН АРТТЫРУДЫ ЗЕРТТЕУ

Лак - түрлі-түсті материалдармен қорғаудың беріктігі мен тиімділігі көбінесе бояудан бұрын бетті дайындау сапасымен анықталады. Лак-бояу жабындарын жағуға бетті дайындау-еңбекқор жұмыс. Бетті бояуға дайындау шығындары бояу жұмыстарының жалпы құнының 30–50 % құрауы мүмкін, ал кейбір жағдайларда тіпті бояу құнынан асып кетуі мүмкін. Техниканы коррозияға қарсы қорғау тәжірибесінде тот түрлендіргіштері барған сайын танымал бола бастады. Оларды пайдалану кейбір жағдайларда бояу технологиясын жеңілдетуге, еңбек сыйымдылығын төмендетуге, еңбек жағдайын жақсартуға, қоршаған ортаның ластануын болдырмауға, бояу жабындарының беріктігін арттыруға және олардың шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Тоттың жаңа түрлендіргішін жасау үшін шикізаттың перспективалы түрлерінің бірі-бұл ірі тонналық май өнеркәсібінің қалдықтары болып табылатын госсиполды шайыр.

Машина жасау өнеркәсібіндегі конструкциялардың, жабдықтар мен түрлі техниканың сенімділігі мен беріктігін арттыру мәселесі өндірісті дамытудың қазіргі кезеңінде ерекше өзектілікке ие болды. Осы мақсатта біз госсиполды шайыры негізінде тот түрлендіргішінің құрамын жасадық. Зерттеу пәні ауылиаруашылық техникасының машина жасау саласындағы өндірістік жабдықтардың металл конструкцияларының беріктігін арттыру үшін тот түрлендіргішін қолдана отырып, қалпына келтіру және қолдану процесінің заңдылығы мен өзгеруі болды. Техниканы коррозиядан қорғау үшін тот түрлендіргіштерінің ассортиментін кеңейту бағытында ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу өзекті және практикалық міндет болып табылады.

Кілтті сөздер: госсипол шайыры, ауылиаруашылық техникасы, коррозия, тот түрлендіргіші, жабындар, орта.

Д. А. Абзалова¹, *З. А. Ибрагимова¹, Д. С. Мырзалиев¹, М. А. Альмуханов², С. К. Мамекова¹

¹Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Республика Казахстан, г. Шымкент

²Кокшетауский университет им. А. Мырзахметова, Республика Казахстан, г. Кокшетау

Поступило в редакцию 01.03.2024.

Поступило с исправлениями 11.03.24.

Принято в печать 11.04.2024.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛАКОКРАСОЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Долговечность и эффективность защиты лакокрасочными материалами в значительной степени определяется качеством подготовки поверхности перед окраской. Подготовка поверхности к нанесению лакокрасочных покрытий является трудоёмкой работой. Затраты на подготовку поверхности к окраске могут составить 30–50% общей стоимости окрасочных работ, а в ряде случаев даже превысить стоимость окраски. В практике противокоррозионной защиты техники все большее признание получают преобразователи ржавчины. Их использование позволяет в ряде случаев упростить технологию окрашивания, снизить трудоёмкость, улучшить условие труда, предотвратить загрязнение окружающей среды, повысить долговечность лакокрасочными покрытиями и уменьшить их расход. Одним из перспективных видов сырья для разработки нового преобразователя ржавчины является госсиполовая смола, являющаяся крупнотоннажным отходом масло-жировой промышленности.

Проблема повышения надежности и долговечности конструкций, оборудования и различной техники в машиностроительной промышленности приобрела особую актуальность на современном этапе развития производства. С этой целью нами разработан состав преобразователя ржавчины на основе

госси-половой смолы. Предметом исследования являлась закономерность и изменение процесса восстановления и нанесения с применением грунта-преобразователя ржавчины для увеличения долговечности металлоконструкций производственного оборудования машиностроительной отрасли и сельскохозяйственной техники. Проведение научно-исследовательских работ в направлении расширения ассортимента преобразователей ржавчины для защиты техники от коррозии является актуальной и практической задачей.

Ключевые слова: госсиполовая смола, сельскохозяйственная техника, коррозия, преобразователь ржавчины, покрытия, среда.

SRSTI 55.03.14

***T. M. Buzauova¹, K. B. Lasch², O. B. Musagul¹,
G. K. Sarsengaliyeva¹**

¹Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda

²«CLASSIC-B» LLP, Republic of Kazakhstan, Karaganda

*e-mail: toty_77@mail.ru

RESULTS OF DYNAMIC MODELING AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PLASMA MACHINE DRIVE

The aim of this research was to enhance the efficiency of the plasma cutting machine by optimizing the drive's technological parameters. During the cutting process using the «Karplaz» plasma machine at «Classic-B» company, some inaccuracies were identified. In order to improve the machine, the design and features of its parts and assemblies were thoroughly investigated. The results of the conducted literary and experimental analysis showed that the formation of deburring is influenced by the cutting speed of the machine. The drive was calculated and the kinematic pair «gear-rack» was replaced.

To avoid the need for expensive field experiments to determine the optimal technological parameters, the Autodesk Inventor Professional 11 software package, which includes a dynamic simulation module, was utilized. This software package allowed for the modeling of toothed pairs with different parameters (modulus $m=4$ mm, $m=2.5$ mm). With high accuracy (60с), the software calculated the speeds, accelerations, and the number of contacts that occur in a gear-rail pair during movement. This level of accuracy is crucial for the operation of a plasma cutting machine. Furthermore, the software enabled an evaluation of the efficiency of the upgraded plasma machine design and provided the capability to make necessary adjustments to ensure high cutting quality.

Based on the results obtained from dynamic modeling, a full-scale experiment was conducted to validate the correctness of the technical decisions made.

Keywords: dynamic modeling, modernization, plasma cutting machine, burr, drive, gear wheel – rack.

Introduction

Due to the cutting accuracy of 0.001 mm, positioning 0.01 mm, CNC plasma machines have found wide application in industry for cutting precise shapes in steel sheets with a thickness of 0.1 mm to 100 mm, dimensions 1500x6000mm, 2000x12000mm.

Classic-B LLP successfully uses a plasma cutting machine «KarPLAZ» of its own design, which consists of a power source, a device for supplying gas (argon), a plasma distributor, a distribution system, a horizontal beam on the X axis, longitudinal rail guides on the Y axis, an electric height regulator on the Z axis, toothed racks and cutter (Figure 1). Guides and drives are part of the reproducing system. It is responsible for

moving the cutter when performing work operations. Classic-B LLP successfully uses a plasma cutting machine «KarPLAZ» of its own design (Fig.1).



Figure 1 - Assembly of the plasma cutting machine «KarPLAZ»

The machine consists of the following main elements (Fig.2): a power source for generating an electric arc and plasma flow; 1, 2 - portal system, guides, which move the cutter 3, as well as a special drive; 4 - a plasmatron, a device responsible for plasma generation; 5 coordinate table, for the placement of sheet metal, which is further subjected to cutting; CNC (computer numerical control) system, where drawings and programs are created and loaded, according to which the plasma cutting assembly functions.

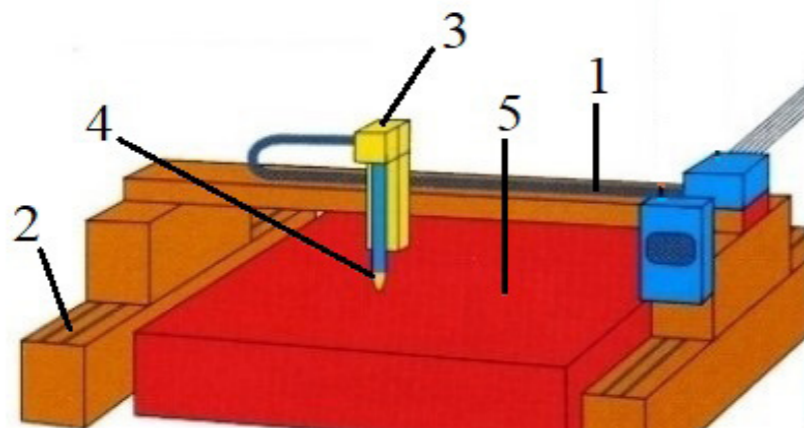


Figure 2 – The main elements of plasma cutting «KarPLAZ»

The working principle of the machine is as follows: the workpieces are placed on the coordinate table, the machine is adjusted and the processing program is launched. In accordance with the trajectory set by the program, the plasma head cuts out shapes. The cutting speed (movement of the working member along the rail guides) is carried out by means of a special drive: toothed wheel – a rack. When cutting on the KarPLAZ

machine, inaccuracies are observed (Fig. 3) and burr formation (Fig. 3, b, c). Burr is ca cooled metal or metal oxide that has adhered to the bottom edge while working on a plasma cutting machine. Burr can appear at inappropriate cutting speeds if the cutting speed is too high or too low [1].



a)



b)



c)

Figure 3 – Inaccuracies in plasma cutting machine «KarPLAZ»:

- a) The cut end point does not coincide with the cut start point;
- b) burr formation when cutting from a circle;
- c) burr formation from a rectangular cut

To determine the cause of the inaccuracy, we study the statistical data of the enterprise for the period January-May 2023 (Table 1), the total amount of work performed is shown in Table 2.

Table 1 – Percentage ratio of usable parts from the total amount of work performed on the plasma machine «KarPLAZ» in «Classic-B» LLP

Months	Percentage of precisely cut mold parts, %			
	rectangular	circular	triangular	shaped
1	92.3	91	88.1	86.4
2	88.3	89.3	85.8	83.2
3	85.4	87.7	84.7	79.4
4	83.2	83.1	81.4	76.7
5	82.2	76.8	78.4	72.7

Table 2 – The volume of work performed on the plasma machine «KarPLAZ» in «Classic-B» LLP

Months	Number of parts when cutting mold, pcs			
	rectangular	circular	triangular	shaped
1	10500	10800	9500	9000
2	10500	10800	9500	9000
3	10500	10800	9500	9000
4	10500	10800	9500	9000
5	10500	10800	9500	9000

On the basis of statistical data, we conclude that accuracy is not ensured when cutting shapes. To solve these problems, we conduct a review of theoretical and experimental studies.

In this paper [2], the authors conducted a comprehensive review of developments in the field of plasma cutting for steel alloys. There are many cutting problems, such as electrode erosion, metal oxide, tilt angle, double arc, surface properties, and thermal effects. It has been observed that the feed rate and the roughness of the edge have a significant impact on the processing characteristics. To study AISI 304 stainless steel by plasma arc cutting, an experiment was conducted taking into account three process parameters and three levels of factors for each parameter [3]. The process input parameters are gas pressure, moving speed, and material thickness. A full-factor experiment consisting of 27 experiments is set. After conducting the experiments, recommendations were given for high-quality cutting of stainless steel at travel speeds of 1.6 to 4.7 m/min.

Experimental studies of plasma cutting on steel sheet samples with a thickness of 15 mm for cutting 17 shaped parts have shown [4] that a too-high speed negatively affects both the workpiece and the tool and leads to indiscriminate spark dispersion with the incomplete cutting of the metal; the appearance of an inclined strip on the surface and solution stains on the cut from below. Low speed contributes to the appearance of

the cut unevenness and its melting, leads to burr formation, and reduces the process's efficiency. The optimum speed is set – from 25 to 55 m/min with a thickness of 15 mm of carbon steel.

With the help of planning experiments, the quality of the surface during CNC plasma cutting of mild steel sheets with a thickness of 10 mm is assessed [5]. The input parameters are cutting speed, cutting height, and arc voltage. The analysis of average values (ANOM) and the analysis of deviations (ANOVA) showed a significant effect of cutting speed on surface quality. The deviation of the other parameters is low, so they can be neglected.

Mathematical modeling of the effect of cutting speed, gas pressure, and voltage on the cutting characteristics during the processing of steel alloys [6] showed direct dependencies of cutting accuracy on cutting speed. The obtained cuts were investigated and their macroscopic and microscopic parameters were evaluated.

Optimization of plasma-arc cutting parameters such as cutting speed, arc current, and distance between burners when processing a 12 mm thick sheet of mild steel is considered in the work [7]. All data are analyzed using the orthogonal matrix «Taguchi's L9». The results of the experiment showed that in order to obtain a maximum steel cutting speed of 12 mm, the cutting arc current should be 65 A, the cutting speed is 2000 mm/min and the retraction distance should be 2.0 mm.

The results of the experimental studies have shown that the speed of the working member, surface roughness, plasma gas pressure, gas composition, cutting current, arc voltage, and cutting speed are the main parameters affecting the cutting quality; at the same time, the speed of movement of the working member significantly affects the cutting quality.

Scientific results and discussion

Having familiarized myself with the design of the machine manufactured by the employees of Classic-B LLP: to perform cutting, the cutter adjusts to the desired height using an electric height controller. The regulator itself is mounted on a beam along which horizontal movement is performed. With the help of toothed racks, (Fig.4) mounted on longitudinal rail guides, vertical movement along the Y-axis is performed. The rack and pinion mechanism is used to convert rotational motion into translational. Rack and pinion mechanism parameters: module $m = 4$ mm, length $l_1 = 500$ mm, width $b = 22$ mm, pitch $s = 12.5$ mm, number of teeth $z = 40$.



Figure 4 – Toothed rack of the plasma machine «KarPLAZ»

The kinematic pair «toothed wheel-rack» has an important feature: the unevenness of the gear ratio, due to the large influence of gear-tooth system errors on the speed of the rack movement. It is especially difficult to ensure the uniformity of slow movements in the feed drive of high-precision machines, such as plasma cutting machines, with a pair of «toothed wheel-rack» [8].

One of the important indicators of the geared transmission is the module. The module is the main indicator of the gear-tooth system, linking together the most important transmission parameters, such as pitch, height, number of teeth, the diameter of the circumference of the teeth protrusions, etc. A decrease in the module and a corresponding increase in the number of the pair teeth helps to reduce the specific slip, which increases the efficiency and reliability of the transmission against jamming [8].

The module in the «toothed wheel-rack» pair is connected with such a parameter as pitch. The change of the pitch step affects the smooth running. The smaller the stroke value, the smoother the linear motion is [8].

In the plasma machine «KarPLAZ», the module of the toothed rack is $m = 4$ mm. By the formula (1) we calculate the pitch of the toothed rack:

$$p_n = \pi \cdot m_n \tag{1}$$

$$p_n = 3,14 \cdot 4 = 12,56$$

To ensure smooth running, we select a toothed rack from the standard row with a module $m = 2.5$ mm, a small pitch $s = 7.85$ mm, length $l = 1000$ mm, width $b = 25$ mm, number of teeth $z = 128$ [8], calculate the step:

$$p_n = 3,14 \cdot 2,5 = 7,85 \tag{2}$$

The design of the machine was changed by replacing the pair «toothed wheel - rack» with the module $m = 4$ mm per pair with the module $m = 2.5$ mm.

In order to determine the correctness of the decisions made, we simulate a toothed pair using the Autodesk Inventor Professional 11 software package containing the Dynamic Simulation module [9, 10] and analyze the work to identify how effectively the upgraded design of the plasma machine will function in real conditions and take, if necessary, corrective actions to ensure the cutting quality.

The purpose is to build a simulation model of the toothed pair, which will allow a deeper understanding of the working conditions, analyze the main parameters of the toothed pair that affect the smooth motion of the plasma machine «KarPLAZ» working member and evaluate measures aimed at improving the accuracy of cutting quality. The simulation parameters are given in Table 3.

Table 3 – Initial data for dynamic modeling

Name of parameters, units of measurement	Identification code	Basic version		The proposed version	
		Rack	Toothed wheel	Rack	Toothed wheel
Module	m	4	4	2,5	2,5
Length, mm	l	500	-	1000	-
Width, mm	b	22	22	25	25
Outer diameter, mm	d_a	-	60	-	65
Dividing diameter, mm	d	-	52	-	60
Diameter of landing hole, mm	D	-	14	-	14
Number of teeth, qty	z	40	13	128	24
Angle at pitch diameter, burr	α	20			

The model is created using graphical tools that allow you to create a model, import it, link and merge models from the library of basic standard models, and components, and include the basic elements of computer-aided design. Existing components can be copied or exported for reuse in the future. We create models of gears and racks with modules $m = 4$ mm, $m = 2.5$ mm.

Obtaining and analyzing simulation results

We check the constructed model for adequacy and assess the kinematic working conditions of the working element, i.e. the correctness of functioning. Use the Output Grapher window to construct diagrams describing the mechanism. By clicking twice on the section of the graph of interest, we can see the corresponding parameters (for example, the maximum values of speeds) (Fig.5), then exit the simulation by clicking the “Finish dynamic modeling” button and save the assembly.

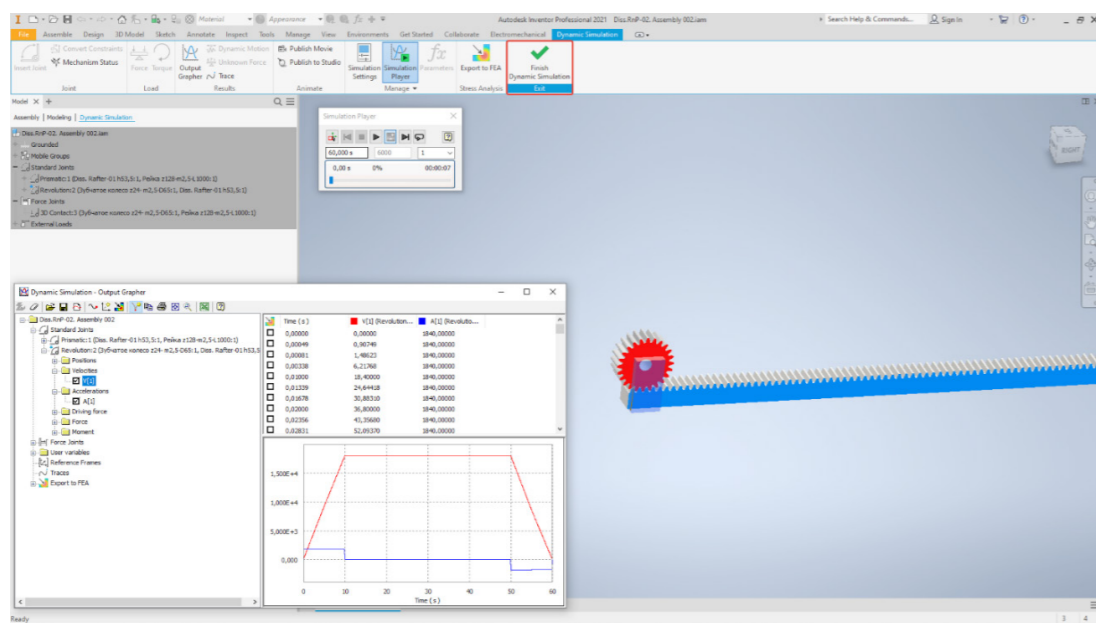
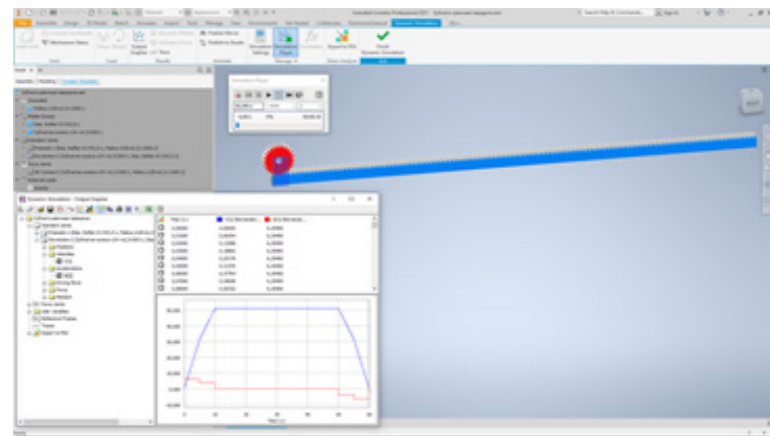
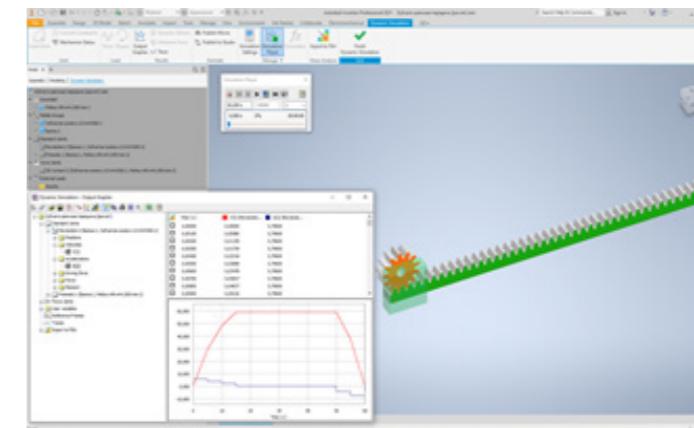


Figure 5 – Results of dynamic simulation

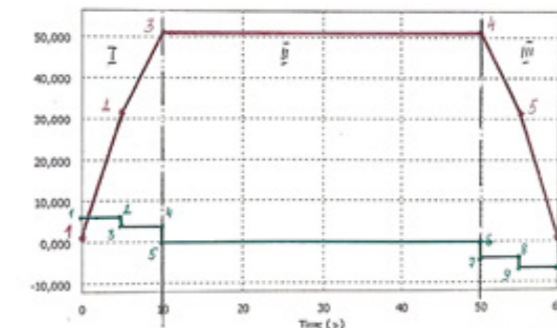
In the graph of the acceleration and speed dependence, we determine the movement of the mechanism links by the trajectories of individual points, denoting them with Arabic numerals 1, 2, 3, etc. The entire area of dependence is conditionally divided into three zones, denoting them with Roman numerals I - acceleration, II – steady motion, and III – braking. The data is entered in the table (Table 4, Table 5).



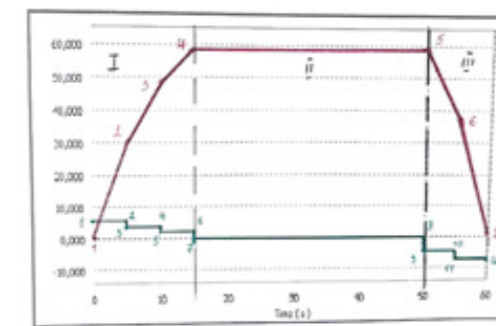
a) Results of dynamic simulation with a module $m=2.5\text{mm}$



b) Results of dynamic simulation with a module $m=2.5\text{mm}$



c) With a module $m=2.5\text{mm}$: V, a, t



d) With a module $m=4\text{mm}$: V, a, t

Figure 5 – Results of dynamic simulation

Table 4 – Speed-time graph data

Module, mm	Points	Time, s	Speed, mm/s	Zone
4	1	0	0	I
	2	5	180	
	3	10	270	
4	5	14	300	II
	5	50	300	

	6	55	180	III
	7	60	0	
2,5	1	0	0	I
	2	5	200	
	3	10	325	
	4	50	325	II
	5	55	200	III
	6	60	0	

Table 5 – Acceleration versus time plot data

Module, mm	Points	Time, s	Speed, mm/s	Zone
4	1	0	48	I
	2	5	48	
	3	5	45	
	4	10	45	
	5	10	43	
	6	15	43	
	7	15	0	II
	8	50	0	III
2,5	1	0	50	I
	2	5	50	I
	3	5	48	
	4	10	48	
	5	10	0	II
	6	50	0	II
	7	60	48	

During the start-up period (I-zone), the movement of the links, which is unsteady, is accelerated. In the period (II -zone) of steady motion, i.e. the speed of the links at the final and initial moments of the cycle are equal, and all the work of the moving forces is spent on overcoming the resistance. During the stopping period (III-zone), the movement continues for some time (10s.), due to the accumulation of kinetic energy absorbed by the motion resistance.

The designed transmission with a module $m = 2.5$ mm accelerates within 5 seconds reaching a value of 50 mm/s^2 , while the speed is 200 mm/s , which significantly affects the operation of the mechanism. The number of contacts along the entire length of the tooth (Fig. 6, 7) increases, thereby ensuring smooth movement of the mechanism without jerks. The wear resistance of the transmission has been increased since the slides are reduced compared to the transmission with the module $m = 4\text{mm}$ (the values v_1 , and v_2 have significantly decreased).

Rack and pinion modeling using the Autodesk Inventor Professional 11 software package allows us to accurately analyze important parameters, such as speed, acceleration, and number of contacts to the smallest detail (up to 60s.).

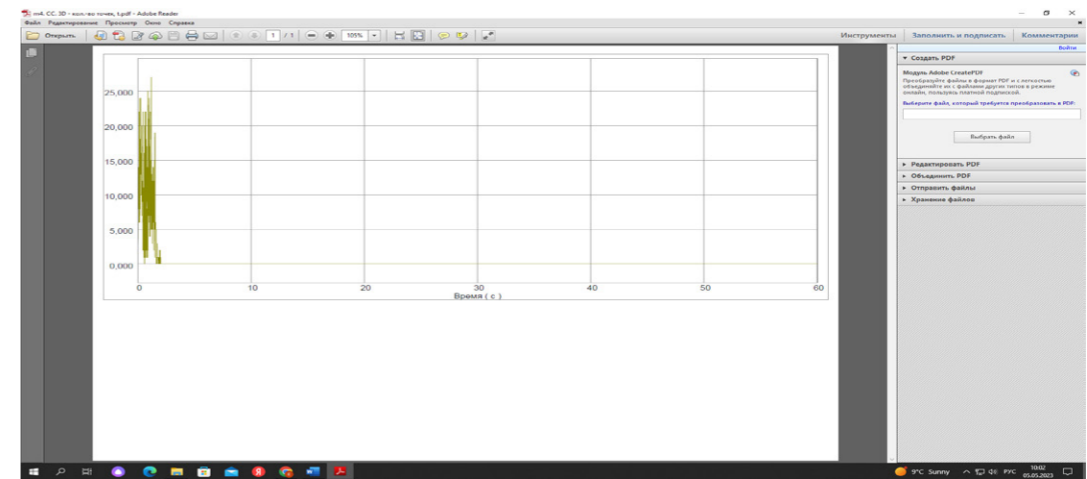


Figure 6 – The number of contacts along the length of the tooth at $m=4\text{mm}$

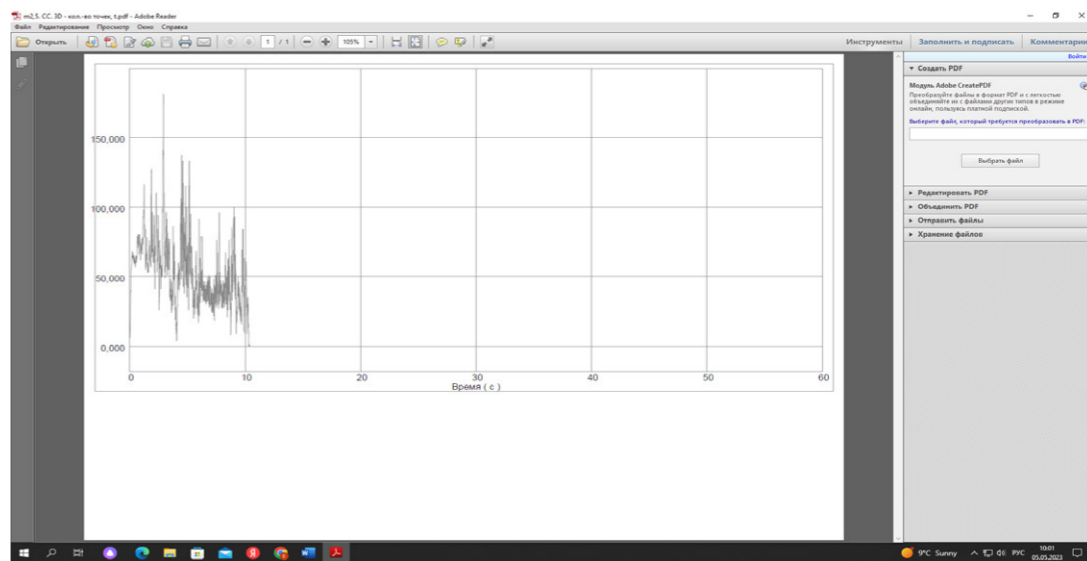


Figure 7 – The number of contacts along the length of the tooth at $m = 2.5$ mm

Using a virtual prototype and analyzing the operation of the drive, we decide to make changes to the design of the machine by replacing gear pairs with a 4 mm module with a 2.5 mm module.

Full-scale tests were carried out, during which batches of sheets $N = 5$ pieces were cut out, made of 40 steel, with a thickness of 5 mm. A rectilinear cut of a part with a size of $400 \times 600\text{mm}$ ($n = 10$ pcs) was performed, as well as a shaped cut ($n= 50$ pcs) (Fig.8).

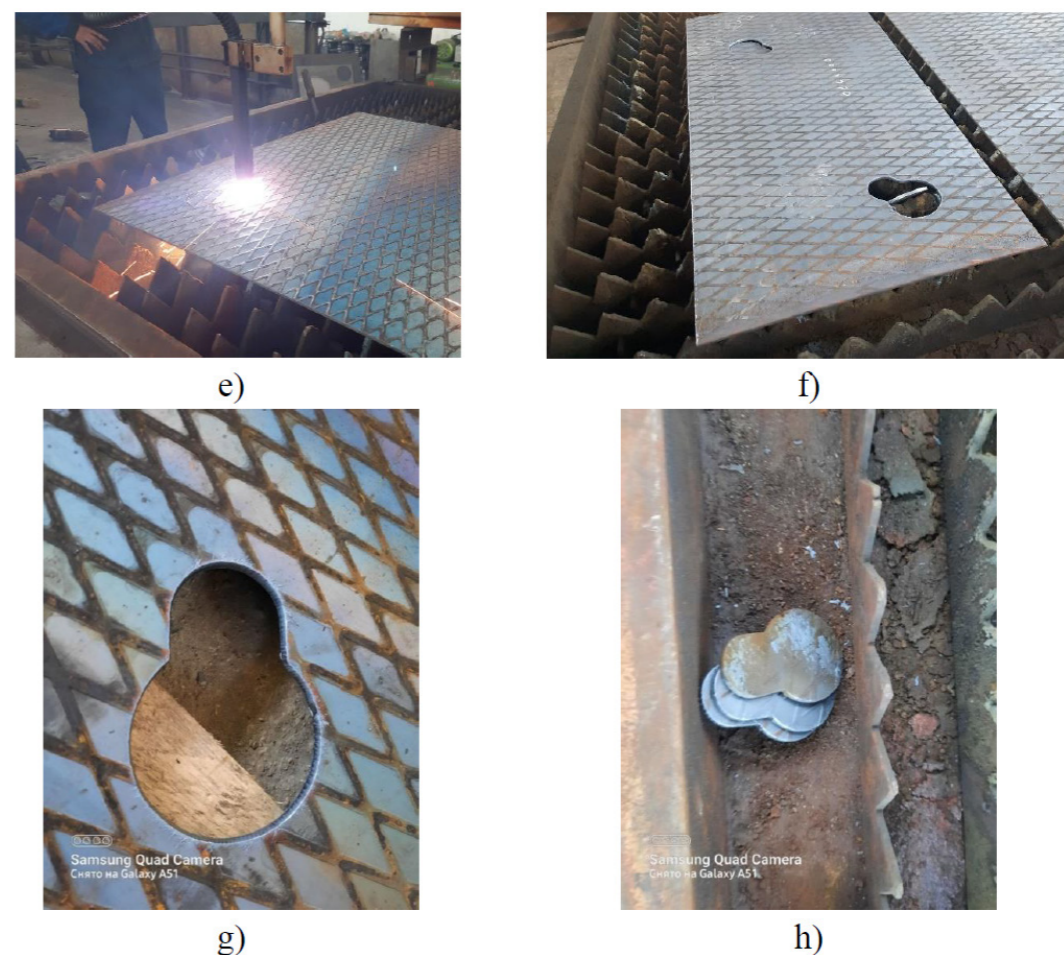
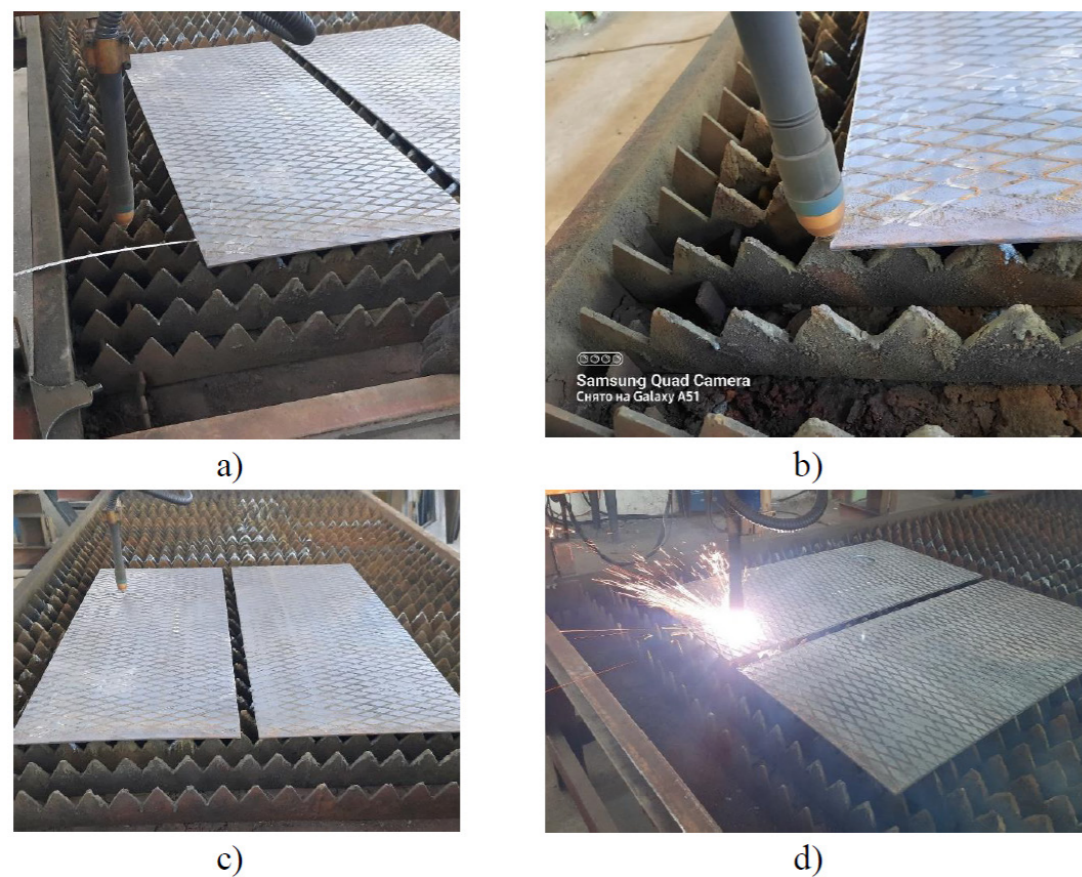


Figure 8 – Tests of the upgraded machine:
 a) measurement of parallelism between the metal plate and the edge of the table;
 b) determination of the starting point; c) cutting;
 d - e) the cutting process;
 f) the finished cutting process;
 g - h) the cut-out profiles of parts

Full-scale tests have shown that the upgraded design of the «KarPLAZ» machine with a module $m = 2.5\text{mm}$ at a speed $V = 5\text{ m/min}$ when cutting structural steel with a thickness of 5 mm serves the needs of Classic-B LLP, provides accurate cutting of the figure, high contour accuracy at sharp corners and edges, narrow tolerance of surface irregularities cutting, the possibility of making holes with a diameter of 10mm and 25mm.

Conclusion

As a result of the conducted research on plasma cutting by the «KarPLAZ» machine, inaccurately cut parts were revealed.

In the study of the machine design and statistical data, the shortcomings of the existing structures were revealed.

Based on the analysis of the machine mechanism designs, a node affecting the cutting quality has been identified.

With the help of dynamic modeling with high accuracy, the rack and pinion parameters, which affect the cutting quality, have been evaluated.

The design of the drive node has been improved by optimizing the gear tooth system parameters.

The result of a full-scale experiment confirmed the convergence of the computer dynamic modeling results and the design and technological solutions adopted during the research.

Full-scale testing of the upgraded plasma machine ensures cutting accuracy and reduces the scrap rate to 5 %.

REFERENCES

1 Nadezhny`j partner. Nadezhnaya zashhita [A reliable partner. Reliable protection] : infor.portal : sajt. -URL: <http://www.instel.by/Stati/Osobennosti-Plazmennoj-Rezki.html> (data obrashheniya: 30.10.2023). - Access mode : dlya vsekh pol`zovatelej.

2 **Murat, Z., Mohammed, C., Mohammed, A., Qasim, A., Qasim, Zeeshan Z.** Developments in Plasma Arc Cutting (PAC) of Steel Alloys: A Review. Journal Kejuruteraan. -2018. 30(1), p. 7-16. <https://doi.org/10.17576/jkukm-2018-30>.

3 **Bhowmick, S., Basu, J., Majumdar, G., Bandyopadhyay, A.** Experimental study of plasma arc cutting of AISI 304 stainless steel. -2018. Vol., Issue 2, Part 1, p. 4541–4550.

4 **Nedić, B., Janković, M., Radovanović, M., Globočki, Lakić G.** Quality of plasma cutting. International Conference of Tribology. Kragujevac, Serbia, – 2013. p. 314–319.

5 **Tsiolikas, A., Kechagias, J., Salonitis, K. & Mastorakis, N.** Optimization of cut surface quality during CNC Plasma Arc Cutting process. Int J Syst. –2016. Part 10, p. 305–308.

6 **Agrawal, P., Bagal, D., Pattanaik, A., Barua, A., Jeet, S., Parida, B.** Experimental Investigation of Cutting Parameters in Plasma Arc Cutting Using Advanced Optimization Approach: A Comprehensive Review. Journal of Applied Engineering Research. – 2019. Vol. 14, Number 13, P. 107–208.

7 **Mittal, S., Mahajan, M.** Multi-Response Parameter Optimization of CNC Plasma Arc Machining Using Taguchi Methodology. Industrial Engineering Journal. – 2019. Volume 11 Issue 12.

8 **Ivanov, M. N., Finogenov, V. A.** Detali mashin [Machine details]. – 2014. 15th ed. rework. Moscow : Yurajt, 408 p.

9. **Zlobin, A.** Modeling of the dynamic operation of mechanisms. Design automation. – 2007. № 1, P. 26–27.

10 Spravka po Inventor [Inventor Help]: inform.portal: sajt. -URL: <https://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2022/RUS/> (data obrashheniya: 30.10.2023). - Access mode : dlya vsekh pol`zovatelej.

Received 23.01.2024.

Received in revised form 29.01.2024.

Accepted for publication 20.03.2024.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Надежный партнер. Надежная защита : инфор.портал: сайт. -URL: <http://www.instel.by/Stati/Osobennosti-Plazmennoj-Rezki.html> (дата обращения: 30.10.2023). -Режим доступа : для всех пользователей.

2 **Murat, Z., Mohammed, C., Mohammed, A., Qasim, A., Qasim, Zeeshan Z.** Developments in Plasma Arc Cutting (PAC) of Steel Alloys: A Review. Journal Kejuruteraan. -2018. 30(1), P. 7–16. <https://doi.org/10.17576/jkukm-2018-30>.

3 **Bhowmick, S., Basu, J., Majumdar, G., Bandyopadhyay, A.** Experimental study of plasma arc cutting of AISI 304 stainless steel. -2018. Vol., Issue 2, Part 1, P. 4541–4550.

4 **Nedić, B., Janković, M., Radovanović, M., Globočki, Lakić G.** Quality of plasma cutting. International Conference of Tribology. Kragujevac, Serbia, – 2013. P. 314–319.

5 **Tsiolikas, A., Kechagias, J., Salonitis, K. & Mastorakis, N.** Optimization of cut surface quality during CNC Plasma Arc Cutting process. Int J Syst. – 2016. Part 10, p. 305–308.

6 **Agrawal, P., Bagal, D., Pattanaik, A., Barua, A., Jeet, S., Parida, B.** Experimental Investigation of Cutting Parameters in Plasma Arc Cutting Using Advanced Optimization Approach: A Comprehensive Review. Journal of Applied Engineering Research. – 2019. Vol. 14, Number 13, P. 107–208.

7 **Mittal, S., Mahajan, M.** Multi-Response Parameter Optimization of CNC Plasma Arc Machining Using Taguchi Methodology. Industrial Engineering Journal. -2019. Volume 11 Issue 12.

8 **Иванов, М. Н., Финогенов, В. А.** Детали машин. 14 переизд. – 2014. М. : Юрайт, 408 с.

9. **Zlobin, A.** Modeling of the dynamic operation of mechanisms. Design automation. – 2007. № 1, P. 26–27.

10 Справка по Inventor : информ.портал : сайт. – URL: <https://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2022/RUS/> (дата обращения: 30.10.2023). – Режим доступа : для всех пользователей.

*Т. М. Бузауова¹, К. В. Лац², О. Б. Мұсагул¹, Г. Қ. Сарсенғалиева¹

¹Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

²ЖШС «Классик-Б», Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

23.01.2024 ж. баспаға түсті.

29.01.2024 ж. түзетулерімен түсті.

20.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПЛАЗМАЛЫ МАШИНАНЫҢ ЖЕТЕГІН ДИНАМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Зерттеудің мақсаты жетектің технологиялық параметрлерін тиімділеу арқылы плазмалық кесу станогының тиімді жұмысын арттыру болып табылады. ЖШС «КарПлаз» өндірісінде плазмалы машинада кесу кезінде ауытқулар байқалды. Сондықтан станок түйіндерінің және тетіктерінің конструкциясы және ерекшеліктері талқыланды. Тәжірибелік мәліметтерді, машина конструкциясын сараптай келе ақаудың пайда болуына станоктың кесу жылдамдығы әсер ететіні анықталды. Сараптаудан кейін жетектің параметрлері есептелді, «тісті дөңгелек-рейка» кинематикалық жұбы ауыстырылды. Жетектің тиімді технологиялық параметрлерін анықтау мақсатында қымбат тәжірибелер жүргізбес үшін Dynamic Simulation модуль бар Autodesk Inventor Professional 11 бағдарлама кешенінде модуль $m=4$ мм, $m=2,5$ мм болатын тісті жұп моделденді. Бұл қолдаңбалы бағдарлама «тісті дөңгелек-рейка» жұбының нақты жұмысы кезіндегі жылдамдығын, үдеуін, жанасу нүктелерінің санын өте ұсақ бөліктермен (60с.) есептеуге мүмкіндік береді, ал бұл көрсеткіштер плазмалы машинаның жұмысы кезінде маңызды болып табылады. Сонымен қатар, өзгерістер енгізілген плазмалы машина конструкциясының қаншалықты тиімді жұмыс істеуін бағалауға және қажет болса сәйкесінші өзгерістер енгізуге мүмкіндік береді.

Динамикалық моделдеу нәтижесі бойынша тәжірибе өткізілді. Ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижесі қабылданған техникалық шешімдердің дұрыстығын растады.

Кілтті сөздер: динамикалық моделдеу, модернизациялау, плазмалы кесу машинасы, ақау, жетек, тісті дөңгелек-рейка.

*Т. М. Бузауова¹, К. В. Лац², О. Б. Мұсагул¹, Г. К. Сарсенғалиева¹

¹Карагандинский технический университет имени

Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

²ТОО «Классик-Б», Республика Казахстан, г. Караганда.

Поступило в редакцию 23.01.2024.

Поступило с исправлениями 29.01.24.

Принято в печать 20.03.2024.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИВОДА ПЛАЗМЕННОЙ МАШИНЫ

Целью исследования является повышение эффективности работы станка плазменной резки за счет оптимизации технологических параметров привода. При резке деталей на плазменном станке «КарПЛАЗ» в ТОО «Классик-Б» были выявлены неточности. Изучена конструкция и особенности работы деталей и узлов станка. Результаты проведенного литературного, экспериментального анализа показали, что на образование грата влияет скорость резки станка. После анализа был проведен расчет привода, заменена кинематическая пара «зубчатое колесо-рейка».

Чтобы не проводить дорогостоящие натурные эксперименты по установлению оптимальных технологических параметров устройства использовался программный комплекс Autodesk Inventor Professional 11 с модулем Dynamic Simulation, с помощью которого были смоделированы зубчатые пары моделями $m=4$ мм, $m=2,5$ мм. Данный пакет прикладных программ позволяет рассчитать скорости, ускорения, число контактов возникающие в паре «зубчатое колесо-рейка» в процессе движения в мельчайших подробностях (60с), что является важным при работе станка плазменной резки. А также позволяет оценить работу, насколько эффективно будет функционировать модернизированная конструкция плазменной машины и предпринять при необходимости корректирующие действия для обеспечения качества резки.

По результатом динамического моделирования проведен натурный эксперимент. Результаты научно-исследовательской работы подтвердили правильность принятых технических решений.

Ключевые слова: динамическое моделирование, модернизация, станок для плазменной резки, грат, привод, зубчатое колесо – рейка.

***D. A. Otegen, P. A. Tanzharykov, N. S Suleimenov**

Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda

**DESIGN AND DEVELOPMENT
OF BALL TRACTION DRIVE SYSTEM**

This project presents a three-stage ball traction drive for electric vehicles, providing a remarkable speed ratio of 1/27. The geometric and kinematic aspects were carefully analyzed and calculated manually and then verified using Recurdyn software at different rotational speeds (100, 500, 1000 rpm). To prevent ball displacement at higher rotational speeds, a strategy involving a small gap between the intermediate balls was employed. For material selection, “Gear-Steel” was favored because of its high yield strength complemented by thrust bearing integration. The static equilibrium analysis was performed manually to provide insight into the relationship between the preload forces, which were further visualized using MATLAB graphs. The rolling efficiency for each stage was calculated separately. The design involved connecting three circular flanges using 18 pins and 18 heavy hex bolts. Modeling in ANSYS revealed a maximum equivalent stress of 737 MPa in the third stage. Finally, Solidworks helped optimize the topology, resulting in a noticeable 14.5% reduction in overall volume.

Keywords: Ball traction drive, gearbox, transmission system, continuously variable transmission, collision.

1.0 Introduction

This research project focuses on the development of a three-stage ball traction drive (BTR) specifically designed for electric vehicles (EVs) with an impressive 1/27 speed ratio. Based on a thorough study of geometric and kinematic elements, carefully analyzed manually and with Recurdyn software over a range of rotational speeds, this ball screw promises to improve the efficiency and performance of electric vehicle propulsion systems. Building on recent advances in traction mechanisms such as spherical, variator and toroidal drives, the study seeks to address existing limitations and stimulate innovation in the field [1].

However, with these advances, challenges remain, such as increasing the speed ratio and ensuring optimal functionality at high speeds. In addition, the inherent stress concentration sites of spherical balls require careful material selection to mitigate potential drawbacks. Thus, this research not only aims to improve the original BTD benchmark, but also to address the critical issues of material strength, friction coefficients, and misalignment reduction, paving the way for more reliable and efficient EV traction drives.

2.0 Methodology

All the parts discussed in this paper were designed and assembled using Solidworks software. Static structural analysis was performed on ANSYS Mechanical software for calculating the deformation and contact stress results. The speed ratio reduction was

found using the formula developed on Mathematica software based on the kinematics analysis. This was confirmed by performing simulation using Recurdyn software. Apart from that, static equilibrium analysis and rolling friction coefficient calculations were solved analytically to find the essential variables such as pretension values and rolling friction forces.

3.0 Design and development process

3.1 Design for the speed ratio

Figure 1 shows all the dimensions notations necessary for the speed ratio calculation. R_1, R_2, R_3 stand for the radii of input, intermediate, and output balls. For example, R_{12} is the distance between the center of the input ball and the contact point of the input and intermediate balls. The numerical values of dimensions are given in Table 1.

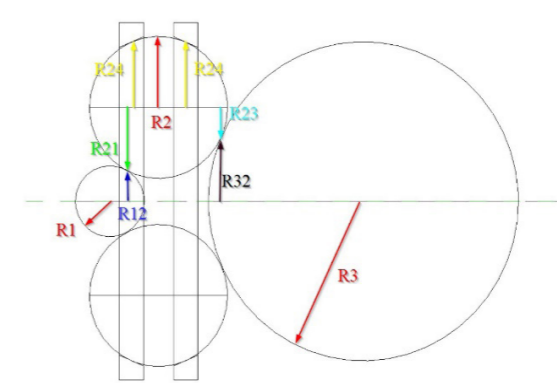


Figure 1 – Updated dimensions of the balls

Table 1 – Numerical values of dimensions

Dimensions	R_1	R_{12}	R_{21}	R_2	R_{24}	R_{23}	R_{32}	R_3
Numerical values (mm)	25	24.6	55.8	56.8	51	25.1	55.3	125

3.1.1 Speed ratio calculation using Mathematica code

The kinematics analysis was conducted to derive the speed ratio formula for the given ball traction system design. All the derivations were implemented using Mathematica software, and the final formula for the one-stage ball traction design is found to be as follows:

$$i = \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{R_{12}(R_{24}+R_{23})}{(R_{21}+R_{24})R_{32}} \tag{1}$$

The Mathematica code can find any speed ratio using the contacting diameter dimensions for BTD. The code can be verified using the hand calculation that derives the same equation as Mathematica.

Verification of Mathematica Code

The tangential velocity for the circle can be written as the equation below:

$$V = \omega * r \tag{2}$$

where ω – the angular velocity, which has the same value for the circle independent of the radius.

If we consider the BTD as big epicyclic circular system, the input and output contacting regions can be figured as in Figure 2.

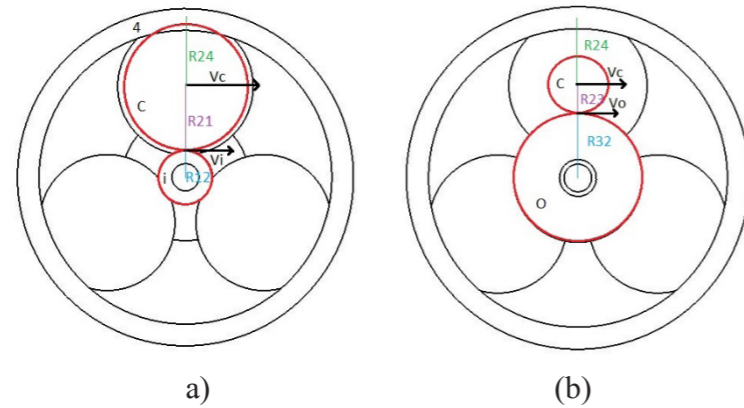


Figure 2 – (a) Contacting circular regions for input and planet ball. (b) Contacting circular regions for output and planet ball. C – contacting circle, I – input, and O – output. According to contacting circles, the tangential velocity of input part can be written as follow:

$$V_i = \omega_i * R_{12} \quad (3)$$

Moreover, if the circular rings are fixed, it can be written in terms of contacting planet balls:

$$V_i = \omega_i * R_{12} = \omega_c * (R_{24} + R_{23}) \quad (4)$$

$$\omega_c = \frac{\omega_i * R_{12}}{R_{24} + R_{23}} \quad (5)$$

$$V_o = \omega_o * R_{32} \quad V_o = \omega_c * (R_{24} + R_{21}) \quad \omega_c = \frac{\omega_o * R_{32}}{R_{24} + R_{21}} \quad (6)$$

From Equations 3 and 6, we get the following:

$$\frac{\omega_i * R_{12}}{R_{24} + R_{23}} = \frac{\omega_o * R_{32}}{R_{24} + R_{21}} \quad \frac{\omega_o}{\omega_i} = \frac{R_{12}(R_{24} + R_{23})}{(R_{21} + R_{24})R_{32}}$$

The derived equation is consistent with Equation 1, which was derived from the Mathematica code. Using Equation 1, we get the following speed ratio for one stage BTD with our updated dimensions (see Table 1):

$$i = \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{25 * (51 + 25.1)}{(55.8 + 51) * 55.3} = 0.32$$

We could achieve the speed ratio of 1/3 for one stage BTD, which yields 1/27 by using three stages connected in series with each other. The speed reduction result of

1/3 that was obtained using the Mathematica code was further validated by calculating the speed ratio using Recurdyn software.

3.1.2 Speed ratio validation

RecurDyn is a computer engineering software developed for multibody dynamics simulation. We aim to validate the speed ratio of 0.32 and observe the generated forces at our multi-stage BTD. Three different input speeds were tested (100 rpm, 500 rpm, and 1000 rpm). It was observed that the simulation yields a similar speed ratio as the manual calculation. For example, Figure 3 below validates the speed ratio of 0.32 when the input speed equals 500 rpm.

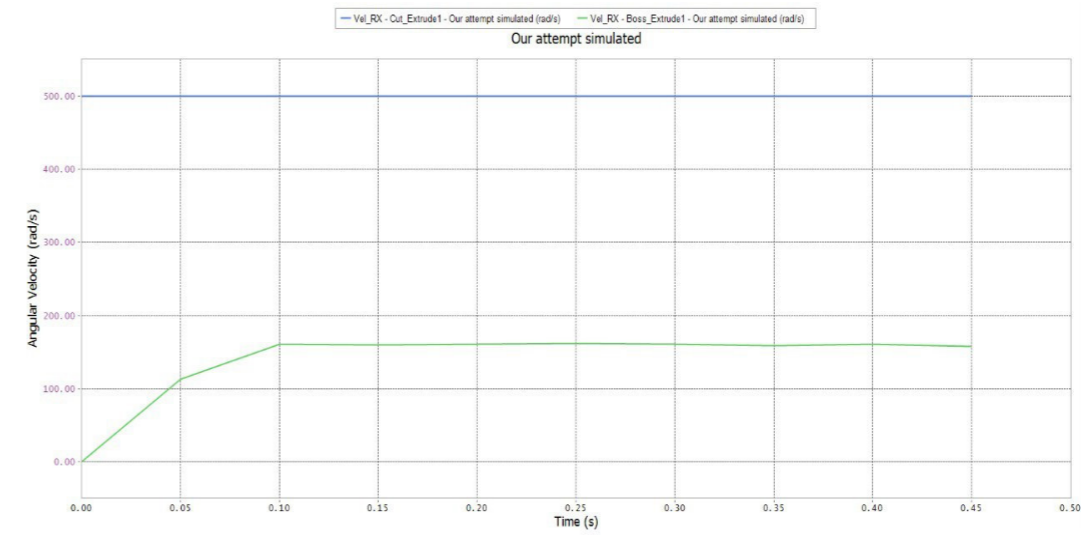


Figure 3 – Recurdyn speed ratio results

Table 2 – Speed ratio validation

	Speed ratio (i)	Initial Force (N)
100 rpm	0.33	13.92
500 rpm	0.33	347.8
1000 rpm	0.18	1392.4

The formula for centrifugal force is as follows:

$$F = m \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 r \quad (7)$$

where μ – centrifugal force, m – mass of the object, n – rotations per minute, r – radius from the center of the BTD to the center of the intermediate balls.

Substituting values into Equation 7 gives:

$$F = 1.5793 * \left(\frac{\pi * 500}{30} \right)^2 * 0.0804 = 347.8 \text{ N}$$

3.3 Pretension calculation

The calculation of pretension forces requires the input variables such as material properties and rolling friction coefficient. Therefore, selected material, criteria for the initial pretensions, rolling friction calculation, and identification of other pretensions are explained in the following sub-sections.

In this project, a patent material called “Gear-Steel” Grade-1 was selected. This material is specially designed for powertrain and transmission applications. In terms of the cost, it is the same as for the SAE 4120 grade steel. The main material properties were derived from Vartanov (2019) [5]. The important material properties are given in Table 3.

Table 3 – Gear-Steel (Grade 1) material properties

Properties	Value	Source
Density	7860 kg/m ³	(“The Online Materials,” n.d.) [3]
Poisson’s ratio	0.3	(“AISI E9310,” 2021) [2]
Tensile Ultimate Strength	1520 MPa	(Vartanov, 2019) [5]
Tensile Yield Strength	1210 MPa	(Vartanov, 2019) [5]
Elastic Modulus	210 GPa	(“AISI E9310,” 2021) [2]
Static Friction Coefficient	0.78	(Roark, 2021) [3]

Since our model has three separate stages, each stage was pre-tensioned separately (see Figure 4). Note that the one ring in each stage was fixed and represented in grey colour. We have three unknown pre-tension values: P_{1,1}, P_{2,1}, and P_{4,1} for the first stage. Similar analysis can be done for the second and third stages.

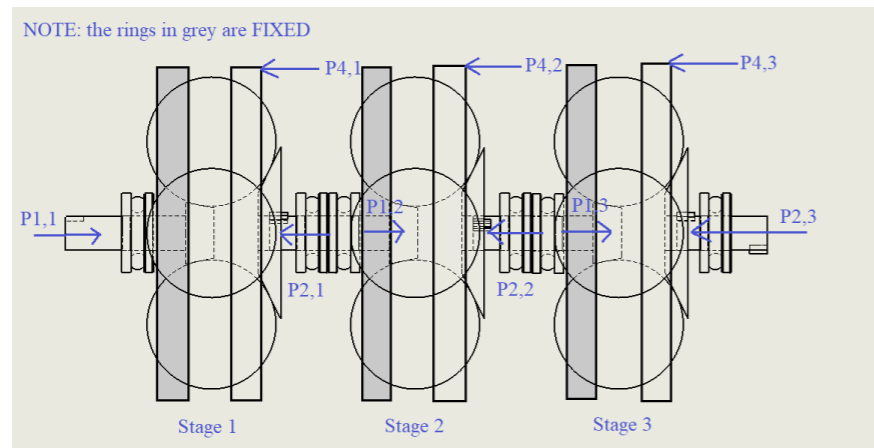


Figure 4 – Illustration of pretension forces

The two pretensions on input and output balls (P₁ and P₂) are found based on the following condition:

$$P\mu > F_t \quad (8)$$

where μ – static friction coefficient value of 0.78 (see Table 3),
 F_t – tangential force that can be found from the given input torques.

The calculation of two tangential forces for each stage is given below. Note that in the calculations shown below, the diameter values were taken from Table 1.

Stage 1

$$\tau_{1,1} = \frac{P}{\omega_{1,1}} = \frac{200000}{10472} = 19.1 \text{ Nm} \quad F_{t1,1} = \frac{2T_{1,1}}{d_1} = \frac{2 \cdot 19.1}{0.05} = 764 \text{ N}$$

$$\tau_{1,3} = \frac{P}{\omega_{1,3}} = \frac{200000}{3490.67} = 57.3 \text{ Nm} \quad F_{t1,3} = \frac{2T_{1,3}}{d_3} = \frac{2 \cdot 57.3}{0.25} = 458.4 \text{ N}$$

Stage 2

$$\tau_{2,1} = \tau_{1,3} = 57.3 \text{ Nm} \quad F_{t2,1} = \frac{2T_{2,1}}{d_1} = \frac{2 \cdot 57.3}{0.05} = 2292 \text{ N}$$

$$\tau_{2,3} = \frac{P}{\omega_{2,3}} = \frac{200000}{1163.56} = 171.9 \text{ Nm} \quad F_{t2,3} = \frac{2T_{2,3}}{d_3} = \frac{2 \cdot 171.9}{0.25} = 1375.2 \text{ N}$$

Stage 3

$$\tau_{3,1} = \tau_{2,3} = 171.9 \text{ Nm} \quad F_{t3,1} = \frac{2T_{3,1}}{d_1} = \frac{2 \cdot 171.9}{0.05} = 6876 \text{ N}$$

$$\tau_{3,3} = \frac{P}{\omega_{3,3}} = \frac{200000}{387.9} = 515.7 \text{ Nm} \quad F_{t3,3} = \frac{2T_{3,3}}{d_3} = \frac{2 \cdot 515.7}{0.25} = 4125.6 \text{ N}$$

Since the tangential forces are known, Equation (7) was used to calculate the two pretensions (P₁ and P₂) using the values of F_{t1,1} and F_{t1,3}. The minimum pretension values for each stage was calculated accordingly:

Stage 1

$$P_1 > \frac{F_{t1,1}}{\mu} = \frac{764}{0.78} = 980 \text{ N} \quad P_2 > \frac{F_{t1,3}}{\mu} = \frac{458.4}{0.78} = 588 \text{ N}$$

Stage 2

$$P_1 > \frac{F_{t2,1}}{\mu} = \frac{2292}{0.78} = 2939 \text{ N} \quad P_2 > \frac{F_{t2,3}}{\mu} = \frac{1375.2}{0.78} = 1763 \text{ N}$$

Stage 3

$$P_1 > \frac{F_{t3,1}}{\mu} = \frac{6876}{0.78} = 8815 \text{ N} \quad P_2 > \frac{F_{t3,3}}{\mu} = \frac{4125.6}{0.78} = 5289 \text{ N}$$

Static equilibrium of forces was carried out analytically to obtain the relationship between pretension forces. Figure 5 demonstrates the axial and normal forces on each component of BTD as well as external pretension forces.

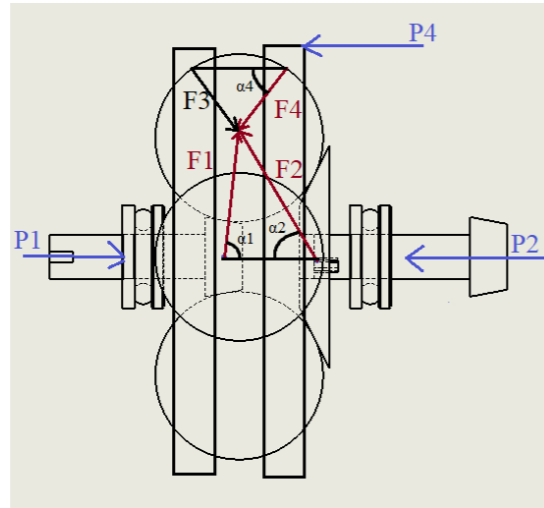


Figure 5 – Static equilibrium of Ball Traction drive

Equilibrium condition with respect to x and y axes can be achieved as follows:

$$-F_1(\cos\alpha_1 - \mu_1\sin\alpha_1) + F_2(\cos\alpha_2 - \mu_2\sin\alpha_2) - F_3(\cos\alpha_3 - \mu_3\sin\alpha_3) + F_4(\cos\alpha_4 - \mu_4\sin\alpha_4) = 0 \quad (9)$$

$$F_1(\sin\alpha_1 - \mu_1\cos\alpha_1) + F_2(\sin\alpha_2 - \mu_2\cos\alpha_2) - F_3(\sin\alpha_3 - \mu_3\cos\alpha_3) - F_4(\sin\alpha_4 - \mu_4\cos\alpha_4) = 0 \quad (10)$$

Combining Equations (9) and (10), we get the following:

$$\frac{-F_1(\cos\alpha_1 - \mu_1\sin\alpha_1) + F_2(\cos\alpha_2 - \mu_2\sin\alpha_2) + F_4(\cos\alpha_4 - \mu_4\sin\alpha_4)}{(\cos\alpha_3 - \mu_3\sin\alpha_3)} = \frac{F_1(\sin\alpha_1 - \mu_1\cos\alpha_1) + F_2(\sin\alpha_2 - \mu_2\cos\alpha_2) - F_4(\sin\alpha_4 - \mu_4\cos\alpha_4)}{(\sin\alpha_3 - \mu_3\cos\alpha_3)} \quad (11)$$

In addition, each pretension force can be expressed in terms of the corresponding axial forces as follows:

$$F_1 = \frac{P_1}{\cos\alpha_1} \quad F_2 = \frac{P_2}{\cos\alpha_2} \quad F_4 = \frac{P_4}{\cos\alpha_4} \quad (12)$$

Replacing the axial forces in Equation (11), it becomes:

$$\frac{-P_1(1 - \mu_1\tan\alpha_1) + P_2(1 - \mu_2\tan\alpha_2) + P_4(1 - \mu_4\tan\alpha_4)}{(\cos\alpha_3 - \mu_3\sin\alpha_3)} = \frac{P_1(\tan\alpha_1 - \mu_1) + P_2(\tan\alpha_2 - \mu_2) - P_4(\tan\alpha_4 - \mu_4)}{(\sin\alpha_3 - \mu_3\cos\alpha_3)} \quad (13)$$

Equation (13) can be rewritten in the form of $P_4 = f(P_2, P_1)$ in the following way:

$$P_4[(1 - \mu_4\tan\alpha_4)(\sin\alpha_3 - \mu_3\cos\alpha_3) + (\tan\alpha_4 - \mu_4)(\cos\alpha_3 - \mu_3\sin\alpha_3)] = P_1[(\tan\alpha_1 - \mu_1)(\cos\alpha_3 - \mu_3\sin\alpha_3)] + P_2[(\tan\alpha_2 - \mu_2)(\cos\alpha_3 - \mu_3\sin\alpha_3) - (1 - \mu_2\tan\alpha_2)(\sin\alpha_3 - \mu_3\cos\alpha_3)] \quad (14)$$

Table 4 – Pretension force values

Stages	1	2	3
P1 (N)	1200	3200	9000
P2 (N)	800	2000	5500
P4 (calculated) (N)	5950	15800	44400

During the constant deformation of rolling parts, the loss of energy happens due to the rolling resistance. Note that the rolling friction coefficients for the first and second stages will be lower because of the lower preload forces. The efficiency of our system can be quantified as follows:

$$\eta_1 = \frac{F_{t1,3} - F_{r1}}{F_{t1,3}} = \frac{458.4 - 0.00882 * 1946.5}{458.4} = 96.3\%$$

$$\eta_2 = \frac{F_{t2,3} - F_{r2}}{F_{t2,3}} = \frac{1375.2 - 0.0120 * 4866.3}{1375.2} = 95.8\%$$

$$\eta_3 = \frac{F_{t3,3} - F_{r3}}{F_{t3,3}} = \frac{4125.6 - 0.0167 * 13382.4}{4125.6} = 94.6\%$$

where F_{r3} – rolling friction force at the third stage.

3.4 Stress calculation

To ensure the accuracy of the simulation results, a mesh sensitivity analysis was performed. Four runs were performed to achieve the optimal mesh size, with an error of 0.7% between the 3rd (97,540 elements) and 4th (118,931 elements) runs (Fig. 6). As a result, the final mesh size was determined to be 8 mm body, 5 mm face and 3 mm contact. The resulting mesh, shown in Figure 12, was used for subsequent analysis.

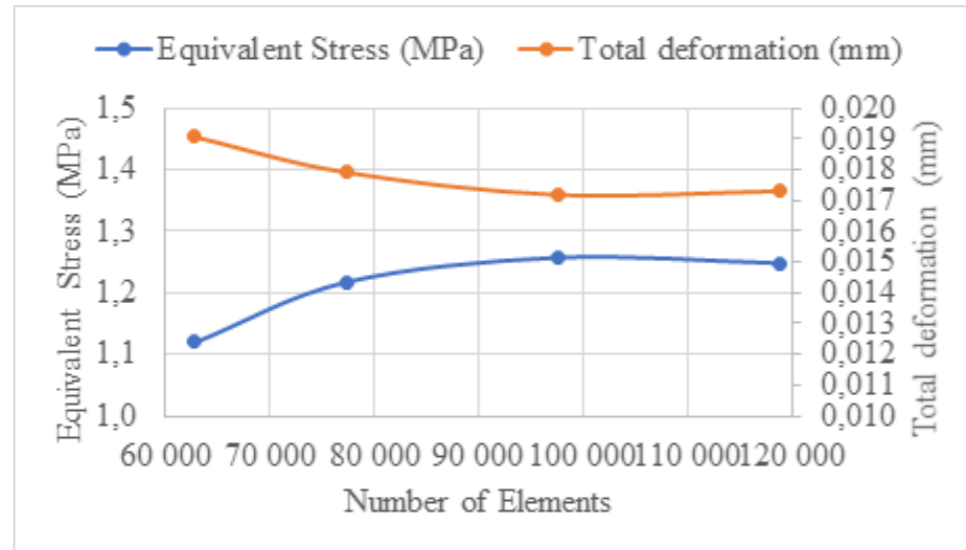


Figure 6 – Mesh convergence study

Table 6 summarizes the maximum values of total strain and equivalent stress for each BTM stage, with variations due to different pre-tensioning forces. It is noteworthy that the highest maximum equivalent stresses (737 MPa) are observed in the third stage, which is attributed to the increased pretension forces and applied moment (Table 4). The stress levels at the contact points remain below the yield strength (1210 MPa) of the Gear-Steel Grade-1 material. Considering the assumed lubrication, the actual coefficients of friction between the dry steels are expected to be lower. The maximum total strain is 0.2 mm (Fig. 7), which confirms the stability of the BTM design under 200 kW and 105 rpm conditions.

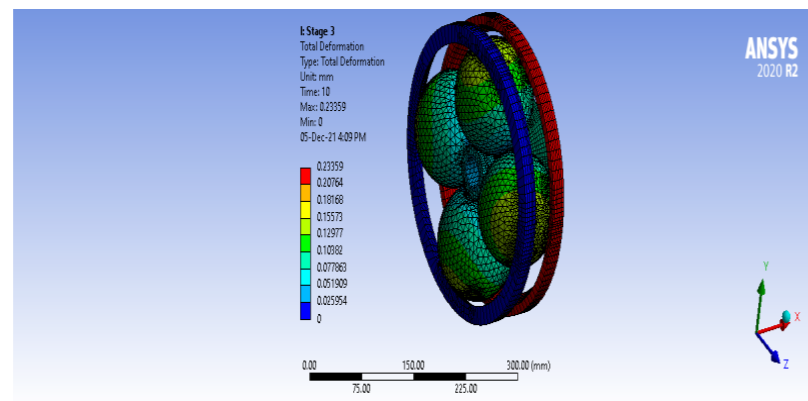


Figure 7 – Deformation result for Stage 3

Table 5 – ANSYS simulation results

Stages	Maximum Total deformation (mm)	Maximum Equivalent stress (MPa)
1	0.0456	192.42
2	0.0994	379.45
3	0.2336	737.38

3.6 Housing design

The housing of the BTM encases and protects internal components, typically made from materials like iron or cast aluminum using methods such as shell moulding or permanent mould casting. In this design, the housing mirrors traditional gearbox housings with three stages connected by a circular flange, ensuring equal pretension force. Designed in Solidworks, gray cast iron was chosen for its mechanical properties and cost-effectiveness. A topology optimization study was conducted on the initial housing design to reduce volume and enhance the stiffness-to-weight ratio. Using Solidworks simulation, potential optimization regions were identified. Some areas, marked in blue, were removed or modified manually based on simulation results. For instance, boundary regions of the first and third parts were partially or fully removed, while chamfering was applied to the middle part. This optimization resulted in a 17.4% reduction in mass and a 14.5% decrease in volume, as shown in Figure 10.

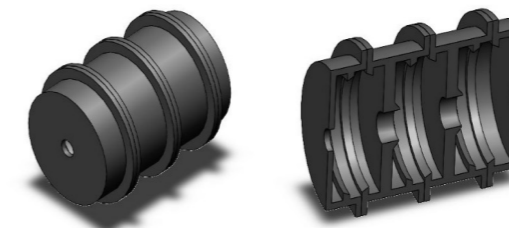


Figure 9 – Initial housing design

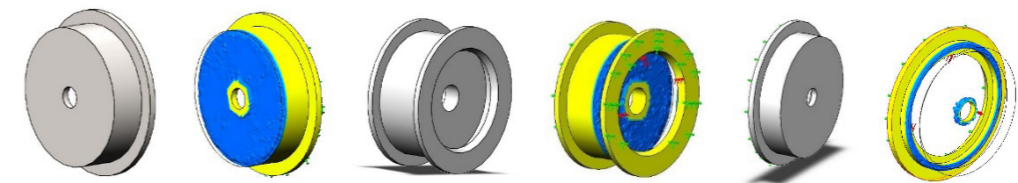


Figure 10 – Topology study for all parts

4.0 Conclusion

In this study, a multi-stage BTM mechanism was developed, building upon the initial benchmark design. Kinematic analysis was performed using Mathematica software to establish a formula for the speed ratio. The BTM consists of three stages in series, each providing a speed ratio of 1/3, validated using Recurdyn software. To prevent ball displacement, four intermediate balls were placed close to each other with a 0.12 mm gap. “Gear-Steel” with a high yield strength of 1210 MPa was chosen, complemented

by 6 “51206 Thrust bearings” with a basic rating life of 22 million revolutions at 90% reliability.

Rolling efficiency was optimized to 95% by pre-tensioning each stage with 18 dowels and 18 heavy hex bolts. The housing, comprising four parts connected by three circular flanges, was made of gray cast iron. An exploded view of the final design is presented in Figure 11.

However, a discrepancy was observed in speed ratio validation above 500 rpm in Recurdyn compared to hand calculations. For instance, at 1000 rpm input speed, the speed ratio was 0.18 instead of the expected 0.3. This deviation is likely attributed to increased centrifugal forces at higher speeds. Initial centrifugal force values at 100 rpm and 1000 rpm were 13.92 N and 1392.44 N, respectively, with an increasing trend observed during simulation. This limitation suggests the need for further investigation and refinement in future studies.

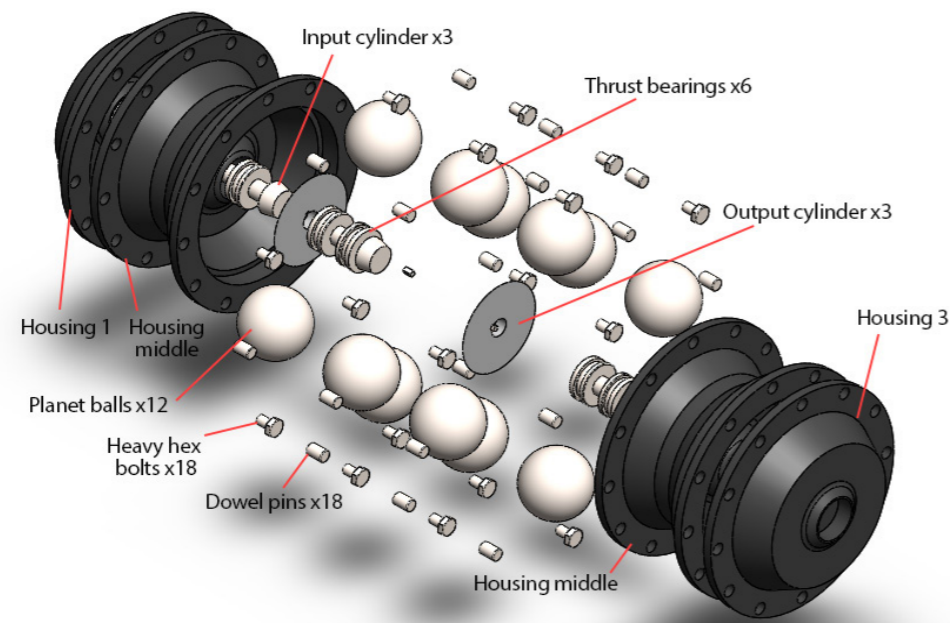


Figure 11 – Exploded view of the full assembly

REFERENCES

- 1 **Afrabandpey, A.** Performance Evaluation of Ball CVT and Comparison with Half Toroidal CVT / Hashem Ghariblu // International Journal of Automotive Technology . – 2018. – № 19. – P. 547–557.
- 2 AISI E9310 Alloy Steel (UNS G93106) // AZO Materials URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6733> (retrieved: 04.01.2024).
- 3 TheOnlineMaterialsInformationResource//MatWeb URL: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3a548b79622945eb8bd1ca53d2dd18c0&ckck=1> (retrieved: 02.10.2024).

4 **Warren C. Young, A.** Roark’s Formulas for Stress and Strain / A Warren C. Young, A Richard G. Budynas. – Seventh Edition. – New York: McGraw-Hill Companies, 2002. – 832 p.

5 Grading the strength of steel. // Gear Solutions. URL: <https://gearsolutions.com/features/grading-the-strength-of-steel/> (retrieved: 02.15.2024).

6 **Kunal, S. M.** Speed Ratio Prediction and Performance Analysis of Single Ball Traction Drive for CVT / S. M Kunal // Journal of Engineering Research and Applications // URL: <https://www.ijera.com/>. – Date of publication: June 2014. – ISSN : 2248-9622

7 **Fuller, D.** Coefficients of Friction // Mechanics // Columbia University, Chapter 2d. P. 42–48.

8 **Sayed, M. A.** / Ball Traction Transmission /, S. Vallakati, P. Gaikwad, A. Kulkarni // International Journal Of Engineering Research & Technology (IJERT) : Electronic Journal - URL: <https://www.ijert.org/view-pdf/15965/ball-traction-transmission.> – Date of publication: 2016.

9 **Heisler, H.** Tyres // Advanced Vehicle Technology (Second Edition) /– London : Butterworth-Heinemann, 2002. – Ch 8. – C. 270-271. – ISBN 978-0-7506-5131-8

10 Thrust ball bearings // SKF URL: <https://www.skf.com/group/products/rollingbearings/ball-bearings/thrust-ball-bearings#cid-488214>. (retrieved: 02.15.2024).

Received 16.04.2024.

Received in revised form 24.04.2024.

Accepted for publication 10.06.2024.

***Д. А. Өтеген, П. А. Таңсарықов, Н. С. Сүлейменов**

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,

Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

16.04.2024 ж. баспаға түсті.

24.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

20.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ШАРИКТІ ТАРТУ ЖЕТЕГІН ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ

Бұл жобада 1/27 жылдамдықтың керемет қатынасын қамтамасыз ететін электромобильдерге арналған үш сатылы шарикті тарту жетегі ұсынылған. Геометриялық және кинематикалық аспектілер мұқият талданып, қолмен есептелді, содан кейін әртүрлі айналу жылдамдығында (100, 500, 1000 айн/мин) Recurdyn бағдарламалық жасақтамасымен тексерілді. Шарлардың жоғары айналу жылдамдығында жылжуын болдырмау үшін аралық шарлар арасындағы кішкене алашақтықты қамтамасыз ететін стратегия қолданылды. Материалды таңдау кезінде “Gear-Steel” болатына басымдық берілді, өйткені оның беріктігі жоғары, мойынтіректерге интеграциямен толықтырылды. Алдын ала жүктеме күштері арасындағы байланыс туралы түсінік алу үшін статикалық тепе-теңдікті талдау қолмен жүргізілді, содан кейін олар MATLAB графиктері арқылы көрсетілді. Әр кезең үшін домалау тиімділігі бөлек есептелді. Дизайн үш дөңгелек фланецті 18 түйреуішпен

және 18 ауыр алтыбұрышты болттармен байланыстыруды көздеді. ANSYS-тегі модельдеу үшін сатыда 737 МПа максималды эквивалентті кернеуді анықтады. Ақырында, Solidworks топологияны оңтайландыруға көмектесті, бұл жалпы көлемнің 14,5% - ға айтарлықтай төмендеуіне әкелді.

Кілтті сөздер: Шарикті тартқыш жетек, беріліс қорабы, беріліс жүйесі, үздіксіз ауыспалы беріліс, коллизия.

***Д. А. Отеген, П. А. Танжарықов, Н. С. Сулейменов**

Кызылординский университет имени Коркыт Ата,

Республика Казахстан, г. Кызылорда

Поступило в редакцию 16.04.2024.

Поступило с исправлениями 24.04.2024.

Принято в печать 10.06.2024.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ШАРОВОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА

В данном проекте представлен трехступенчатый шариковый тяговый привод для электромобилей, обеспечивающий замечательное соотношение скоростей 1/27. Геометрические и кинематические аспекты были тщательно проанализированы и рассчитаны вручную, а затем проверены с помощью программного обеспечения Recurdyn при различных скоростях вращения (100, 500, 1000 об/мин). Для предотвращения смещения шариков при более высоких скоростях вращения была применена стратегия, предусматривающая небольшой зазор между промежуточными шариками. При выборе материала предпочтение было отдано стали «Gear-Steel» из-за ее высокого предела текучести, дополненного интеграцией в упорный подшипник. Анализ статического равновесия проводился вручную, чтобы получить представление о взаимосвязи между силами предварительного нагружения, которые затем были визуализированы с помощью графиков MATLAB. Эффективность качения для каждой ступени рассчитывалась отдельно. Конструкция предусматривала соединение трех круглых фланцев с помощью 18 штифтов и 18 тяжелых шестигранных болтов. Моделирование в ANSYS выявило максимальное эквивалентное напряжение в 737 МПа на третьей ступени. Наконец, Solidworks помог оптимизировать топологию, что привело к заметному уменьшению общего объема на 14,5 %.

Ключевые слова: Шариковый тяговый привод, коробка передач, система передач, бесступенчатая трансмиссия, коллизия.

МРНТИ 55.13.99

***А. А. Барзов¹, Я. Д. Сеина², Р. Б. Муканов³,
М. С. Игнатьев¹, А. Т. Альпеусов³**

¹Московский государственный университет имени

М. В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Москва

²Московский государственный технический университет имени

Н. Э. Баумана, Российская Федерация, г. Москва

³КазНИТУ имени К.И. Сатпаева, г. Алматы

*e-mail: a.a.barzov@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНО- КВАЛИФИКАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ НА ЭТАПЕ ЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Показана сложность селективного прогнозирования функциональной значимости научно-квалификационных исследований, особенно на самых ранних этапах их жизненного цикла. Предложено на этапе планирования научно-квалификационного исследования использовать квалиметрический подход к построению прогностического рейтинга ожидаемой возможности его защиты в срок. Формализована процедура аддитивно-детерминированного построения такого рейтинга методом критериально-экспертного анализа. Аналитическим путем получено соотношение, связывающее в единый функциональный комплекс рейтинг планируемого научно-квалификационного исследования и критериев оценки его качества с учетом соответствующих коэффициентов влияния. Предложена реалистичная совокупность критериев оценки рейтинга планируемого направления выполнения научно-квалификационного исследования и определена их количественная значимость. На примере технологической операции волочения показана эффективность осуществления, предлагаемого квалиметрического подхода к сравнительной оценке рейтинга планируемых к выполнению нескольких научно-квалификационных исследований. Показано, что на современном этапе развития технологии волочения наиболее актуальна разработка аппарата высокоэффективного диагностирования данной операции, а также комплексное конструкторское совершенствование волоочильного инструмента и оптимизация факторов эксплуатационно-технологической наследственности.

Намечены перспективы развития квалиметрического подхода, в первую очередь, путем создания соответствующих нейросетей для объективизации процедуры рейтингования трудноформализуемых категорий, к которым относится выбор направления выполнения научно-квалификационного исследования.

Ключевые слова: квалиметрия, экспертиза, рейтинг, критерии оценки, квалификационное исследование, технология волочения.

Введение

По разным оценкам, более половины успеха в выполнении диссертационных работ в области новой техники и технологий зависит от удачного выбора темы научно-квалификационного исследования. Поэтому повышение объективности процедуры такого выбора, в том числе с использованием функциональных возможностей специально созданного программно-математического обеспечения – так называемого «искусственного интеллекта», представляет собой актуальную проблему малозатратного повышения научно-прикладного потенциала разнопрофильных знаний и более эффективного решения задачи подготовки кадров высшей научно-педагогической квалификации.

Учитывая логически не всегда четкий, как правило, трудноформализуемый характер рассматриваемой проблемы повышения результативности выбора темы научно-квалификационного исследования (НКИ) используем для её решения квалиметрический подход [1–5]. Такой подход, основанный на экспертном анализе, позволяет даже в условиях различных неопределенностей осуществить процедуру рейтингования по определенным оценочным критериям нескольких вариантов тематики планируемых НКИ и по её результатам оценить их качество с позиций успеха защиты аспирантом диссертации в срок.

В связи с этим укрупненный алгоритм методики решения поставленной задачи по повышению эффективности выбора рациональной темы НКИ на самых ранних четко структурированной процедуры этапах «жизненного цикла» диссертаций различного уровня сводится к выполнению следующей процедуры. Она включает в себя определение набора критериев, характеризующих прогнозируемое качество планируемого НКИ, оценку значимости данных критериев, осуществления самой процедуры критериально-экспертного оценивания (КЭО), рейтинго-формализованной обработки полученных результатов и их сравнению между собой.

Материалы и методы

Предположим, что обобщенный параметр оценки ожидаемого качества планируемого НКИ или его потенциал диссертательности темы (ПДТ) определяется совокупностью критериев, связь между которыми в формализованном виде можно представить как:

$$U_0 = f(u_{0i}) \quad i = 1, 2 \dots n \quad (1)$$

где U_0 – обобщенный параметр или рейтинг, комплексно характеризующий предиктивное качество темы диссертации на самых ранних этапах её жизненного цикла; u_{0i} – i -й критериально-оценочный параметр, индивидуально влияющий на величину U_0 ; $i=1, 2, \dots, n$ – число исходных оценочных критериев, формирующих итоговое значение U_0 , в данном случае ПДТ конкретного НКИ на ранних этапах его жизненного цикла.

Формально совокупность u_{0i} представляет собой массив неких идеальных, номинально точных критериальных оценок, сделанных экспертами ПДТ исследования планируемого к выполнению при обучении в аспирантуре или магистратуре. Однако, фактически на практике эти экспертные оценки

характеризуются субъективными погрешностями, что можно отразить в следующем соотношении с учетом (1):

$$U = U_0 + \Delta U = f(u_{0i} + \Delta u_i) \quad (2)$$

где U – реальное, имеющее место на практике, значение критериального рейтинга темы конкретной диссертации; Δu_i – фактические отклонения экспертных оценок от априори неизвестных номинально-точных оценочных значений i -ого критериального параметра, характеризующего U_0 ; ΔU – суммарная погрешность или отклонение прогнозируемого рейтинга анализируемой темы рассматриваемого НКИ от условно-точного номинала.

Вполне обосновано предположим, что эксперты обладают достаточно высокой профессиональной квалификацией, т.е. справедливо неравенство вида:

$$\Delta u_i \ll u_{0i} \quad (3)$$

Тогда, после разложения (2) в ряд Тейлора и его линеаризации с учетом этого предположения в виде (3) получим:

$$\Delta U = U - U_0 = \sum_{i=1}^n (u_i - u_{0i}) \quad (4)$$

где u_i – реальные значения экспертных оценок критериев u_{0i} , определяющих фактическую величину U – ПДТ или рейтинга предиктивного качества тематики, планируемого НКИ.

Далее, из вполне логичного допущения о том, что функциональная структура (1) и (4), в случае относительной малости Δu_i согласно (3) определяется линейным соотношением между анализируемыми параметрами из (4) следует:

$$U = \sum_{i=1}^n \beta_i u_i \quad (5)$$

где, как и ранее U – итоговое рейтинговое значение структурно-комплексного параметра, позволяющего предиктивно определить ПДТ планируемого НКИ на самых ранних предварительно-оценочных этапах его жизненного цикла; u_i – реальная оценка конкретным экспертом значения i -ого единичного критерия, характеризующего степень его влияния на U ; $\beta_i = \partial f / \partial u_i$ – коэффициенты влияния, определяющие значимость i -ого оценочного критерия u_i в формировании прогнозируемого уровня ПДТ планируемого НКИ, т.е. фактически рейтинга его диссертательности.

Следует подчеркнуть, что предложенный вывод соотношения (5), которое позволяет на практике реализовать алгоритмизированную процедуру количественного подведения итогов критериального экспертного оценивания (КЭО), основан на вполне логичном предположении о справедливости линейной зависимости U от совокупности u_i . Фактически это означает функциональную независимость оценочных критериев между собой и, как следствие, различную роль с позиций значимости в формировании итоговой рейтинговой оценки ПДТ анализируемого НКИ. Причем структура соотношения (5), позволяющая получить численный результат КЭО, хорошо известна в квалиметрии, как способ обработки оценочных суждений экспертов методом взвешенной суммы [2]. Кроме того, данная зависимость широко используется в метрологии при анализе влияния различных погрешностей на точность получения требуемого размера детали или изделия при его сборке.

Результаты и обсуждения

Приведем пример реализации предлагаемого квалиметрического подхода на практике. Для оценки ПДТ диссертационного исследования были определены следующие три ключевых критерия и путем предварительного КЭО определена их значимость, т.е. численно конкретизированы коэффициенты влияния в итоговом соотношении (5). Результат этой, по существу подготовленной процедуры, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные критерии оценки качества тематики диссертационных исследований и их рейтинговая значимость

№№ п.п.	Наименование критерия оценки ПДТ планируемого исследования	Принятые сокращения	Значимость критерия
1.	Востребованность ожидаемых результатов научным сообществом	ВР	9,0
2.	Масштабность использования результатов диссертации и их экспортный потенциал	МИ	8,0
3.	Оценка оригинальности результатов с позиций их патентуемости	ОП	7,0

Для конкретизации рассматриваемого примера были сформулированы три темы возможного диссертационного исследования в области повышения результативности операции волочения высококачественной проволоки [6,7]:

Акустико-эмиссионная диагностика (АЭД) процесса волочения (ДПВ) для обеспечения его функционального качества.

Комплексное целевое конструкторско-технологическое совершенствование волочильного инструмента (СВИ).

Оптимизация факторов эксплуатационно-технологической наследственности (ЭТН) на операциях волочения.

Далее, с учётом материально-технических и других реальных возможностей выполнения научно-прикладной тематики в конкретных лабораторно-производственных условиях, в частности на предприятиях по изготовлению волок из синтетических алмазов и волочению высококачественной тонкой, диаметром меньше 0,1 мм, проволоки из цветных металлов, были путём КЭО определены значения оценочно-характеристических критериев ожидаемого качества планируемых НКИ. Обобщенные результаты данной процедуры представлены в табл.2.

Таблица 2 – Экспертные оценки критериев, характеризующих различные темы НКИ

№№ п.п.	Наименование темы НКИ	Значения критерия оценки		
		ВР	МИ	ОП
1	ДПВ	8,0	8,0	6,0
2	СВИ	7,0	7,0	5,0
3	ЭТН	7,0	6,0	5,0

Основываясь на полученных путем КЭО данных о величинах оценочных критериев, которые представлены в табл.2 с учётом их значимости (см. табл. 1) по соотношению (5) рассчитывался рейтинг ПДТ планируемых НКИ. В табл. 3 представлены результаты сравнительной оценки рейтингов анализируемого ПДТ для реалистичных НКИ в области научно-прикладного совершенствования технологии волочения.

Таблица 3 – Сравнительный рейтинг ожидаемого качества тематики планируемых диссертаций в области технологии волочения

№№ п.п.	Темы планируемой диссертации	Принятые сокращения	Рейтинг диссертательности
1	Акустико-эмиссионная диагностика в области	АЭД	1,0
2	Совершенствование волочильного инструмента	СВИ	0,81
3	Оптимизация наследственности	ЭТН	0,82
Примечание. В последней графе представлен рейтинг ПДТ планируемых НКИ нормированный на максимальное значение.			

Таким образом, из представленных вариантов тематики наибольшим рейтингом диссертательности обладает НКИ потенциала информационно-технологических возможностей акустико-эмиссионной диагностики функционального качества процесса волочения. Конечно, вышерассмотренный пример во многом имеет условный характер, но он наглядно иллюстрирует прикладную результативность алгоритмизированной процедуры решения такой трудноформализуемой квалиметрической задачи, как максимально достоверная предиктивная оценка диссертательности планируемых НКИ. Заметим, что в дальнейшем путем реалистичного расширения спектра оценочных критериев и уточнения их значимости возможно создание соответствующего программно-математического обеспечения, позволяющего вполне объективно подходить к выбору наиболее рейтинговых тем диссертаций в самых различных областях знаний, в первую очередь в естественно-научных дисциплинах.

Результаты и обсуждения

Сформулирована задача предиктивной оценки диссертательности планируемого НКИ аппаратом прикладной квалиметрии, в частности путём использования результатов стандартной процедуры критериально-экспертного оценивания (КЭО). В первом приближении показано, что рейтинговая оценка диссертательности складывается из экспертных оценок критерия, характеризующих тему будущего НКИ с учетом их функциональной значимости. Аналитически формализовано данное рейтинговое соотношение, структура которого совпадает с известным в прикладной квалиметрии методом взвешенной суммы.

Сформулированы базовые критерии оценки ожидаемого качества темы будущего НКИ и путем КЭО определена их количественная значимость, что фактически замыкает предлагаемый подход в решении задачи прогнозирования уровня диссертабельности планируемых НКИ.

Приведен пример оценки рейтинга диссертабельности трех конкретных тем НКИ в области технологии волочения. Показано, что наибольшим рейтингом диссертабельности обладает тема, связанная с разработкой и реализацией инструментария акустико-эмиссионной диагностики параметров состояния процессов трения и пластического деформирования материала проволоки в зоне её волочения. Данный пример наглядно иллюстрирует потенциал возможностей предлагаемого квалиметрического подхода и позволяет на практике получать методически значимые результаты на этапе планирования НКИ различного уровня.

Выводы

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие основные выводы, а также сформулировать предварительные обобщения и наметить перспективы развития, предлагаемого квалиметрического подхода к рейтингованию тематик планируемых диссертационных исследований.

Итогом целенаправленного развития, разрабатываемого квалиметрического подхода должна стать соответствующая научно-прикладная методика прогнозирования ожидаемого качества НКИ на самых ранних этапах их жизненного цикла сущностно состоящая в анализе диссертабельности предлагаемой аспиранту или магистранту темы исследования.

Предлагаемый подход обладает достаточной степенью гибкости, что позволяет его функционально адаптировать к решению аналогичных квалиметрических задач в других отраслях знаний. Для этого необходимо реализовать предметно-ориентированное уточнение и дополнение используемых в данной работе оценочных критериев, а также осуществить процедуру определения их значимости в структуре вычисления рейтинга темы будущего НКИ.

По мере совершенствования разрабатываемого квалиметрического подхода основной перспективой его развития следует считать создание и масштабное применение в профильных Университетах специализированного программно-математического обеспечения в виде соответствующих нейросетей. Это позволяет существенно повысить достоверность процедуры обоснования потенциала качества тематики планируемых диссертационных исследований.

В заключение отметим, по функционально-сущностной аналогии возможно создание целенаправленных нейросетей для анализа значимости тематики планируемых НИР и/или НИОКР, которая может быть результативно сопряжена с тематикой выполняемых на их базе профильных НКИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Хвастунов, Р. М., Корнеева, В. М., Феофанов, А. Н.** Квалиметрия в машиностроении: учебник [Текст] // М.: Экзамен. – 2009. – 285 с.
- 2 **Хвастунов, Р. М., Корнеева, В. М., Ягелло, О. И.** Экспертные оценки в квалиметрии машиностроения: учебное пособие [Текст]. // М.: АНО «Технонефтегаз» – 2002. – 278 с.
- 3 **Барзов, А. А., Корнеева, В. М., Феофанов, А. Н.** Вероятностное моделирование процедуры экспертно-аналитического анализа качества инноваций [Текст] // Технология машиностроения. – 2018. – № 10(196). – С. 63–69.
- 4 **Бушева, А. Г., Феофанов, А. Н.** Отбор участников в состав экспертных групп с помощью метода многокритериальной оптимизации [Текст] // Вестник МГТУ «Станкин». – 2021. – №3(5). – С. 22–27.
- 5 **Барзов, А. А., Ветлинская, М. В., Сысоев, Н. Н.** Предиктивное моделирование трудноформализуемых категорий [Текст] // М.: МГУ имени М. В. Ломоносова. Физический факультет. – 2021. – 274 с.
- 6 **Головизнин, С. М., Петров, И. М., Ноговицина, О. В.** Оценка условий возникновения области интенсивной деформации у поверхности проволоки при волочении проволоки [Текст] // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 5(131). – С. 127–130.
- 7 **Прач, С. И., Прытков, В. П.** Исследование способов снижения обрыва проволоки при волочении [Текст] // Современные проблемы машиноведения: Сборник научных трудов. Том Часть 2. – Гомель – 2023. – С. 253–256.
- 8 **Агапов, Е. В., Виноградов, А. И., Голованов, М. А., Дампилон, В. Г.** Разработка эффективной технологии волочения для получения проволоки с улучшенными механическими характеристиками [Текст] // Калибровочное бюро. – 2019. – № 14. – С. 25–26. – EDN KUYUMZ.
- 9 **Делюсто, Л. Г.** Технология вибрационной очистки и волочения проволоки [Текст] // Заготовительные производства в машиностроении. – 2018. – Т. 16, № 8. – С. 358-365. – EDN XVRFNJ.
- 10 **Шубин, И. Г.** Применение комплексного показателя для оценки результативности технологии волочения канатной проволоки и свивки стальных канатов [Текст] // Качество в обработке материалов. – 2016. – № 2(6). – С. 58–62. – EDN XIRPDN.

REFERENCES

- 1 **Xvastunov, R. M., Korneeva, V. M., Feofanov, A. N.** Kvalimetriya v mashinostroenii: uchebnyy [Qualimetry in mechanical engineering: textbook] [Text] // Moscow : Exam. – 2009. – 285 p.
- 2 **Xvastunov, R. M., Korneeva, V. M., Yagello, O. I.** E`kspertny`e ocenki v kvalimetrii mashinostroeniya : uchebnoye posobie [Expert assessments in mechanical

engineering qualimetry : a textbook] [Text]. // Moscow : ANO «Tehnoneftegaz» - 2002. – 278 p.

3 **Barzov A. A., Korneeva, V. M., Feofanov, A. N.** Veroyatnostnoe modelirovanie procedury e`kspertno-analiticheskogo analiza kachestva innovacij [Probabilistic modeling of the procedure for expert analytical analysis of the quality of innovations] [Text] // Mechanical engineering technology. – 2018. – № 10(196). – P. 63–69.

4 **Busheva, A. G., Feofanov, A. N.** Otkor uchastnikov v sostav e`kspertny`x grupp s pomoshh`yu metoda mnogokriterial`noj optimizacii [Selection of participants in expert groups using the multi-criteria optimization method] [Text] // Bulletin of MSTU «Stankin». – 2021. – №3(5). – P. 22–27.

5 **Barzov, A. A., Vetlinskaya, M. V., Sy`soev N. N.** Prediktivnoe modelirovanie trudnoformalizuemy`x kategorij [Predictive modeling of difficult-to-formalize categories] [Text] // Moscow : Moscow State University named after M. V. Lomonosov. Faculty of Physics – 2021. – 274 p.

6 **Goloviznin, S. M., Petrov, I. M., Nogovicina, O. V.** Ocenka uslovij voznikoveniya oblasti intensivnoj deformacii u poverxnosti provoloki pri volochenii provoloki [Assessment of the conditions for the occurrence of an area of intense deformation near the surface of the wire during wire drawing] [Text] // Science and business: ways of development. – 2022. – № 5(131). – P. 127–130.

7 **Prach, S. I., Pry`tkov, V. P.** Issledovanie sposobov snizheniya obry`va provoloki pri volochenii [Research on ways to reduce wire breakage during drawing] [Text] // Modern problems of mechanical engineering: Collection of scientific papers. Volume Part 2. – Gomel` – 2023. – pp. 253-256.

8 **Agapov, E. V., Vinogradov, A. I., Golovanov, M. A., Dampilon, V. G.** Razrabotka e`ffektivnoj tehnologii volocheniya dlya polucheniya provoloki s uluchshenny`mi mexanicheskimi xarakteristikami [Development of an effective drawing technology for obtaining wire with improved mechanical characteristics] [Text] // Calibration Bureau. – 2019. – № 14. – P. 25–26. – EDN KUYUMZ.

9 **Delyusto, L. G.** Texnologiya vibracionnoj ochildki i volocheniya provoloki [Technology of vibration cleaning and wire drawing] [Text] // Procurement production in mechanical engineering. – 2018. – T. 16, № 8. – P. 358–365. – EDN XVRFNJ.

10 **Shubin, I. G.** Primenenie kompleksnogo pokazatelya dlya ocenki rezul`tativnosti tehnologii volocheniya kanatnoj provoloki i svivki stal`ny`x kanatov [Application of a complex indicator to assess the effectiveness of rope wire drawing technology and laying of steel ropes] [Text] // Quality in materials processing. – 2016. – № 2(6). – P. 58-62. – EDN XIRPDN.

Поступило в редакцию 03.04.2024.

Поступило с исправлениями 13.04.2024.

Принято в печать 26.05.2024.

***А. А. Барзов¹, Я. Д. Сеина², Р. Б. Муканов³, М. С. Игнатъев¹, А. Т. Альпеисов³**

*¹М. В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті,

Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.

²Н. Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.

³Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Алматы қ.

03.04.2024 ж. баспаға түсті.

13.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

26.05.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БЕЙІНДІ ЖОСПАРЛАУ КЕЗЕҢІНДЕ ҒЫЛЫМИ-БІЛІКТІЛІК ЗЕРТТЕУДІҢ НӘТИЖЕЛІЛІК ӘЛЕУЕТІН АЙҚЫНДАУ

Ғылыми-біліктілік зерттеулерінің функционалдық маңыздылығын, әсіресе олардың өмірлік циклінің алғашқы кезеңдерінде селективті болжаудың күрделілігі көрсетілген. Ғылыми-біліктілік зерттеулерін жоспарлау кезеңінде оны уақытында қорғаудың күтілетін мүмкіндігінің болжамды рейтингін құруға квалиметриялық тәсілді қолдану ұсынылды. Мұндай рейтингті критериялы-сараптамалық талдау әдісімен аддитивті-детерминирленген құру рәсімі рәсімделді. Аналитикалық жолмен жоспарланған ғылыми-біліктілік зерттеулерінің рейтингін және тиісті әсер ету коэффициенттерін ескере отырып, оның сапасын бағалау критерийлерін бірыңғай функционалды кешенге байланыстыратын қатынас алынды. Ғылыми-біліктілік зерттеулерін орындаудың жоспарланған бағытының рейтингін бағалау критерийлерінің нақты жиынтығы ұсынылды және олардың сандық маңыздылығы анықталды. Сызудың технологиялық операциясының мысалында бірнеше ғылыми-біліктілік зерттеулерін орындау жоспарланған рейтингті салыстырмалы бағалауға ұсынылған квалиметриялық тәсілді жүзеге асырудың тиімділігі көрсетілген. Сүйреу технологиясын дамытудың қазіргі кезеңінде осы операцияны жоғары тиімді диагностикалау аппаратын әзірлеу, сондай-ақ сүйреу құралын кешенді конструкторлық жетілдіру және пайдалану-технологиялық тұқым қуалаушылық факторларын оңтайландыру ең өзекті болып табылады. Квалиметриялық тәсілді дамытудың перспективалары, ең алдымен, ғылыми-біліктілік зерттеулерін орындау бағытын таңдау кіретін, рәсімделуі қиын санаттарды рейтингтеу рәсімін объективтендіру үшін тиісті нейрожелілерді құру жолымен белгіленді.

Кілтті сөздер: квалиметрия, сараптама, рейтинг, бағалау критерийлері, біліктілікті зерттеу, сызу технологиясы.

*A. A. Barzov¹, Y. D. Seina², R. B. Mukanov³, M. S. Ignatiev¹, A. T. Alpeisov³*¹Lomonosov Moscow State University, Russian Federation, Moscow²Moskovsk State Technical University named after N. E. Bauman, Russian Federation, Moscow³K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty

Received 03.04.2024.

Received in revised form 13.04.2024.

Accepted for publication 26.05.2024.

DETERMINATION OF THE POTENTIAL FOR THE EFFECTIVENESS OF SCIENTIFIC AND QUALIFICATION RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROFILE AT THE STAGE OF ITS PLANNING

The complexity of selective forecasting of the functional significance of scientific and qualification research, especially at the earliest stages of its life cycle, is shown. It is proposed to use a qualimetric approach to the construction of a predictive rating of the expected possibility of its defense in time at the planning stage of scientific qualification research. The procedure of additive-deterministic construction of such rating by the method of criterion-expert analysis is formalized. The ratio linking the rating of the planned scientific-qualification research and the criteria for assessing its quality, taking into account the relevant influence coefficients, into a single functional complex has been analytically obtained. A realistic set of criteria for assessing the rating of the planned direction of scientific-qualification research fulfillment is proposed and their quantitative significance is determined. The effectiveness of the proposed qualimetric approach to the comparative assessment of the rating of several scientific and qualification research planned for implementation is shown on the example of technological operation of drawing. It is shown that at the present stage of development of drawing technology the most actual is the development of the apparatus of highly effective diagnostics of this operation, and also complex design improvement of drawing tool and optimization of factors of operational-technological heredity. Prospects of development of qualimetric approach are outlined, first of all, by creation of corresponding neural networks for objectivization of rating procedure of hard-to-formalize categories, to which the choice of direction of performance of scientific-qualification research belongs.

Keywords: qualimetry, expertise, rating, evaluation criteria, qualification research, drawing technology.

МРНТИ 55.09.43

*Д. Ж. Басқанбаева¹, Қ. К. Елемесов¹, М. К. Мырзақұлов¹,
Е. Е. Сарыбаев¹, Н. К. Аубакирова¹¹Satpayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,*e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university

САЛАЛЫҚ МАШИНА ЖАСАУДА КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕСІ

Бұл мақалада машина жасау саласы үшін жаңа Құрылымдық материалдардың физика – механикалық сипаттамаларын қамтамасыз ететін полимербетон мен фибробетонның ұтымды құрамдарын таңдау нәтижелері мен әдістері келтірілген.

Осы зерттеулердің жаңалығы тау– кен-металлургия кешеніне арналған жабдықтарды дайындау кезінде машина жасауда пайдалануға болатын жаңа композициялық материалды алудың техникалық мүмкіндігі мен экономикалық орындылығының дәлелі болып табылады.

Қазіргі уақытта полимербетон және фибробетон сияқты композициялық материалдар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады.

Зерттеулер үш фракциядан тұратын үзік-үзік гранулометриясы бар агрегатты пайдалану ұтымды екенін анықтады. Бұл жағдайда кішігірім фракциялар үлкен фракциялардағы бос орындарды толтырады, бұл полимербетонның тығыздығын және оның беріктігін арттырады. Бір-бірінен реті бойынша ерекшеленетін фракциялардың болуы орынды екендігі анықталды. Бұл полимербетон үшін, редукторлардың корпустарын жасау үшін қоспаның ұтымды құрамын ұсынуға мүмкіндік берді.

Полимербетондардың сипаттамаларына негізгі факторлардың әсері зерттелді: араластырылған жұмыс органының айналу жиілігі, компоненттердің қозғалу уақыты және ЭД шайырының температурасы.

Компоненттерді екі сатыда араластыру технологиясы жасалды, ол біртекті қоспаны және емдеуден кейін изотропты материалды алуды қамтамасыз етеді. Жүргізілген зерттеулер бұл материалдарды техникалық сипаттамалары бойынша машина жасауда корпус бөлшектері үшін пайдалану шойын және алюминий қорытпалары сияқты дәстүрлі материалдардан кем түспейтінін растады. Бұл олардың үнемді аналогтар ретіндегі рөлін растайды.

Кілтті сөздер: композит материалдар, фибробетон, полимербетон, қоспалар, талшықтар, діріл столы.

Кіріспе

Талдау талшықты қолдану композициялық материалдардың беріктік сипаттамаларының жақсаруына әкелетінін көрсетеді. Осылайша, талшықтың әртүрлі түрлерін қолдану мүмкіндігін зерттеу өзекті болып отыр. Бұл тұрғыда композиттердегі олардың техникалық сипаттамаларын анықтау үшін көміртекті және базальтты талшықтарды қолданатын эксперименттер жүргізілді. Құрылыс

индустриясында болат талшықты, базальт талшықты және көміртекті талшықты қолдануға арналған зерттеулер бар, бірақ бүгінгі күнге дейін композиттік материалдардан жасалған технологиялық машиналардың корпус бөлшектерін өндіруде базальт пен көміртекті талшықты қолдануға арналған зерттеулер жүргізілген жоқ.

Осы мәселені шешу мақсатында Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінде (Satbayev University) орталықтан тепкіш сорғылар корпусын дайындау үшін редукторлар корпусын және фибробетонды дайындау үшін полимербетонды пайдалану бойынша арнайы зерттеулер жүргізілді. Осы зерттеулер шеңберінде бірқатар міндеттер шешілді, соның ішінде полимербетон мен фибробетонның оңтайлы құрамдарын таңдау, өнімнің беріктігіне негізгі факторлардың әсерін зерттеу, өндіріс технологиясын әзірлеу және прототиптерді сынау. Алынған нәтижелер осы баяндамада ұсынылған [1].

Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында әдеби дереккөздерге аналитикалық шолуды, көміртекті және базальтты талшықты қолдана отырып, композициялық қоспаның құрылымының теориялық аспектілерін, сондай-ақ қоспаның техникалық параметрлерін және қоспаларды дайындау процестері мен сорғы корпусын құю технологияларына әртүрлі факторлардың әсерін эксперименттік зерттеуді қамтитын кешенді әдіс қолданылды. Эксперименттердің нәтижелері алынған мәліметтердің жоғары сенімділігін қамтамасыз ете отырып, математикалық статистика әдістерін қолдану арқылы өңделді. Бұл тұжырымдар полимерлі бетон және талшықты бетон қоспаларын дайындаудың технологиялық нұсқауларын, сондай-ақ редукторлар мен орталықтан тепкіш сорғылардың корпустарын құю әдістерін әзірлеуге негіз болды.

Полимербетон қоспасын жасау үшін байланыстырушы компонент ретінде полиэфир шайыры қолданылды. Толтырғыштар мен толтырғыштар қоқысты (2–3 мм фракция), кварц құмын (0,5–1 мм фракция) және минералды ұнды (0,05–0,01 мм фракция) таңдады. Қиыршық тасты фракцияларға бөлу процесі елеулі қолдану арқылы жүзеге асырылды, содан кейін қажетті фракцияны іріктеу неғұрлым қолайлы мөлшердегі електен жүргізілді. Агрегаттарды кептіру кептіргіш жабдықты пайдаланып бөлінгеннен кейін жүзеге асырылды [2].

Полимербетонның максималды беріктік сипаттамаларына қол жеткізу үшін компоненттердің дұрыс сандық қатынасы ғана емес, сонымен қатар толтырғыш пен толтырғыштың ылғалдылығын қоса алғанда, технологиялық параметрлерді сақтау маңызды болды. Бұл материалдардың ылғалдылығы 1% - дан аспауы керек, ал қышқылдығы 97–98% - дан кем болмауы керек. Кептіруден кейін материалдар қоршаған ортаның ылғалымен жанаспау үшін оқшауланған.

Ыдыстағы шикі компоненттерді араластыру процесі әр түрлі пропорцияда толтырғыштарды (қоқыс, кварц құмы, минералды ұн) және көмірсутектерді қосуды қамтыды. Бұл процесс барлық компоненттердің біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін 3 минутқа созылды.

Байланыстырушы компоненттің ролін атқаратын полиэфир шайыры қоспаға үлгі массасының 10 % қатынасында қосылды. Полиэфир шайыры байланыстырушы компоненттің адсорбциясын және құрғақ толтырғыштармен байланыста жоғары араластыру тиімділігін қамтамасыз ету үшін 110 °С дейін қыздырылды.

Полиэфир шайырын 110 °С температураға дейін қыздырғаннан кейін қатайтқыш қосылды, ол полимербетон қоспасынан бас тартудың химиялық реакциясының катализаторы болды. Бұл компонент 2 минут ішінде белсенді түрде араластырылды. Содан кейін полиэфир шайыры мен қатайтқыш қоспасы алдын ала дайындалған құрғақ қоспасы бар ыдысқа қосылды. Араластыру процесі біртекті массаға жеткенше 6 минут бойы жалғасты [3].

Мұқият араластырғаннан кейін полимербетон қоспасы үлгі матрицасының 10 ұяшығына біркелкі таратылды. Матрица ұяшықтарында қоспаның тығыз таралуын қамтамасыз ету үшін вибростол қолданылды. Үлгілердің дірілдеу процесі 10 минутқа созылды. Содан кейін үлгілер матрицада бөлме температурасында 7 сағат бойы ұсталды. Матрицадан шығарылғаннан кейінгі үлгілер (1-суретті қараңыз) кептіру ШС-200 СПУ-да 70 °С температурада 2 сағат бойы кептірілді.



Сурет 1 – Матрицадан шығарылғаннан кейінгі үлгілер

Әрі қарай, көмірсулар мен базальт талшықтары қосылған үлгілер жасалды, содан кейін олардың беріктік сипаттамаларын анықтау үшін механикалық сынақтар жүргізілді. Полимерлі материалдардың микро және макроқұрылымдарының тән ерекшеліктері де ескерілді.

Полимерлі материалдың бетінде молекулааралық өзара әрекеттесу энергиясының өтелмеуіне байланысты макромолекулалар құрылымында полярлық функционалды топтардың болуына байланысты артық беттік энергия пайда болады [4,5]. 1-кестеде әртүрлі әдістермен алынған кейбір полимерлі материалдар үшін беттік энергия шамалары келтірілген.

Кесте 1 – Әртүрлі әдістермен алынған полимерлі материалдар үшін беттік энергия шамалары

Полимер	Полимер беттік энергия, мДж/см ²
Полиэтилен	32-35
Полипропилен	29-32
Полистирол	36-43
Политетрафторэтилен	19-26
Поливинилхлорид	42-46
Полиметилметакрилат	41-47
Полиамид	47

Полимерлі материалдардың терең қабаттарының құрылымы оларды алу жағдайларына – температура мен концентрация өрістерінің біркелкілігіне, реактопласттар үшін – әр түрлі тереңдіктегі катаю кинетикасына байланысты, бұл материалдың көлденең қимасы бойынша температура өрістерімен де байланысты.

Дисперсті толтырғыштары бар немесе талшықтармен нығайтылған полимерлі материалдардың құрылымы жоғары гетерогенділікпен және фазааралық құбылыстардың маңызды көріністерімен сипатталады. Полимер матрицасының фазааралық қабатында оның құрамы мен құрылымы, оның ішінде супрамолекулалық құрылымның белгілі бір реті айтарлықтай өзгереді. Фазалық интерфейсте ылғалдану шарттары, адгезиялық байланыстар компоненттердің өзара әрекеттесу сипатына және фазааралық беттік энергияның шамаларына байланысты. Толтырғыштарды полимер матрицасымен төмен ылғалдандырғанда, интерфейсте кеуектілік пайда болуы мүмкін.

Бағдарланған полимерлі материалдар – талшықтар, талшықты материалдар және пленкалар - алу шарттарына байланысты, сондай-ақ көлденең өлшемдердің аздығына байланысты олардың беттік сипаттамалары мен гетерогенділігінде өзіндік айырмашылықтары бар. Талшықтардың көлденең қимасының пішіні мен бетінің сипаты көбінесе бастапқы полимердің түріне, талшықтарды алу әдісіне және шарттарына байланысты болады.

Химиялық талшықтардың көлденең қимасының пішінін табиғи талшықтармен салыстыру қызықты: мақта, зығыр, жүн, табиғи жібек. Бұл талшықтар үшін көлденең қиманың пішіні олардың пайда болу жағдайларымен де байланысты. Табиғи талшықтардың беті мен көлденең қимасының пішіні айтарлықтай ерекшеленеді. Мысалы, мақта талшықтарының спираль тәрізді бұралуы бар, жүн талшықтарының бетінде қабыршақтар бар болуы мүмкін [6].

Химиялық талшықтардың беті мүлдем тегіс емес: азды-көпті айқын бойлық ойық бар, ол балқымалардан қалыптау арқылы алынған талшықтарда аз байқалады (ойықтардың тереңдігі нанометрдің оннан бір бөлігін құрайды). Талшықтар олардың қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететін кездейсоқ орналасқан ақаулардың болуымен сипатталады. Ақаулар Үстірт болуы мүмкін (көлденең қиманың пішіні мен мөлшерінің ауытқуы, сызаттар, беттік ластану) және көлемді (бөгде қоспалар, тері тесігі, жарықтар).

Талшықтар мен пленкалардың көлденең гетерогенділігін зерттеу олардың көпшілігінде үш қабат бар екенін көрсетті:

- кейде «кутикула» немесе мембрана деп аталатын жұқа беткі қабат (қалыңдығы шамамен 1 мкм);
- беткі қабат;
- терең қабат немесе өзек (ядро).

Беткі қабаттардың құрылымдық ерекшеліктері әртүрлі полимерлерден (полиолефиндер, поликапроамид, целлюлоза ацетаты, полипиромеллитимидтер және т.б.) жасалған пленкаларда зерттелді. Мәселен, мысалы, әртүрлі полимерлердің бағдарланған пленкаларының үлгілері үшін құрылымның әртүрлі аймақтарында бағдарлау мәндері алынды (кесте. 2). Барлық түрдегі Полимерлі материалдар беткі ақаулардың болуымен сипатталады-әртүрлі мөлшердегі тесіктер немесе жарықтар. Кеуектілік кең ауқымда өзгеруі мүмкін және бастапқы полимердің түріне, өңдеу әдісіне және шарттарына байланысты. Балқымадан жасалған материалдардың кеуектілігі әдетте аз,тері тесігі кішкентай. Еріткіштің булануымен олардың ерітінділерінен полимерлі материалдарды алу кезінде кеуектілік те өте аз болады. Еріткішпен тұндыру арқылы «дымқыл» әдіспен ерітінділерден алынған Полимерлі материалдар (әсіресе талшықтар мен пленкалар) ең үлкен кеуектілікке ие. Талшықтар мен пленкалар кеуектерінің мөлшері 1-1.5 мкм және одан аз болатын микрокеуектіліктің болуымен сипатталады (кесте. 3).

Кесте 2 – Полимерлі қабықшалар құрылымының әр түрлі бағыттарындағы бағдарлар

Полимер	Пленкаларды шығару жиілігі	Ортамолекулалық бағдарлау	
		Беттік қабат	Терең қабат
Полиэтилен (жоғары тығыздықтар)	27	0,98	0,93
Полипропилен	11	0,92	0,77
Полипиромеллитимид	3	0,95-0,73	0,92-0,54

Кесте 3- Полимерлі материалдардың кеуектілігінің сипаттамасы

Талшықтар, үлдірлер	Көлем пор, см ³ /г.
Полипропилен	0,021
Поливинилді спирт	0,025-0,029
Алифаттық полиамидтер	0,014
Полиэтилентерефталат	0,009
Гидрат Целлюлоза	0,016-0,039
Триацетат целлюлозаның	0,015
Қайталама ацетат целлюлозаның	0,003

Полимерлі материалдардың барлық түрлерінің ішінде талшықты құрылымдар ең күрделі құрылымға ие: тоқыма материалдары, талшықты композиттер, қағаздар мен картондар. Лазерлік сәулеленудің талшықты материалдармен өзара әрекеттесу ерекшеліктері олардың бір мезгілде көп компонентті және көп фазалы жүйелер болып табылатындығымен анықталады, олардың арасындағы интерфейстер айқын көрінеді. Талшықты материалдардың осы және басқа түрлерінің құрылымы өте алуан түрлі, сәйкесінше олар компоненттердің құрамы мен қасиеттеріне ғана емес, сонымен қатар олардың орналасуына және олардың өзара әрекеттесуіне байланысты әр түрлі механикалық және физикалық қасиеттерге ие. Олардың ішінде екі негізгі жеке топты бөліп көрсету керек [7,8]:

– кеуекті тоқыма және қағаз талшықты материалдар дамыған талшықты-ауа беті бар;

– талшықтар жүйесінен (тоқыма немесе қағаз арматуралық толтырғыш) және талшықтар арасындағы бос орындарды толығымен толтыратын полимерлі матрицадан тұратын монолитті талшықты композициялық материалдар.

Осы топтардан басқа, екі негізгі топтың ерекшеліктерін біріктіретін талшықты композициялық құрылымдардың көптеген басқа түрлері бар. Талшықты материалдардағы талшықтар мен жіптердің орналасуы өте әртүрлі болуы мүмкін: бір осьті (1-D), жазықтықты, екі осьті (2-D) немесе үш өлшемді (3-D) бағдар, сондай-ақ талшықтардың реттелмеген орналасуы. Тоқыма және қағаз материалдары құрылымның ерекше күрделілігіне ие, олар талшықтардың орналасуы мен кеуектерінің сипаты өте кең кеуекті құрылымдар болып табылады, бұл олардың қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді.

Нәтижелер мен талқылау

Көмірсутекті полимербетоннан үлгілерді жасау және оларды иілу мен сығымдау үшін сынау үшін үлгінің жалпы массасынан көмірсулардың әртүрлі пайызы бар бірнеше сандық үлгілер дайындалды. 4-кестеде максималды беріктік сипаттамаларына қол жеткізілген полимербетон қоспасының компоненттерінің қолданылатын арақатынасы көрсетілген.

Кесте 4- Максималды беріктік сипаттамаларына қол жеткізілген полимербетон қоспасының компоненттерінің қолданылатын арақатынасы

№	Құрамдас бөліктер	Жаппай есептеу кезіндегі көрсеткіш %	Сығылуға беріктік шегі $\delta_{сж}$, МПа	Иілудің беріктік шегі $\delta_{дан}$, МПа
1	Үйінді қиыршық тас	50,0	188,2	83,0
2	Кварцты құм	25,5		
3	Минералды ұн	14,0		
4	Шайыр	10,0		
5	Қатайтқыш	1,0		
	Барлығы	100		

Осыдан кейін компоненттердің арақатынасы әртүрлі концентрациядағы көмірсулар қосылған үлгілерді жасау үшін пайдаланылды. Бұл қысу және иілу

кезінде жоғары беріктік көрсеткіштеріне қол жеткізу үшін көмірсулардың оңтайлы мөлшерін анықтау мақсатында жасалды.

Механикалық сынақтар жүргізілмес бұрын үлгілер олардың жұмыс күйін анықтау үшін зертханалық зерттеулерден өтті. Осыдан кейін үлгілер олардың құрамын кейіннен талдау үшін бояумен белгіленді. Механикалық сынақтар температурасы $20 \pm 5^\circ\text{C}$ болатын бөлмеде жүргізілді. Иілу және қысу кезінде беріктік шегін тексеру үшін таза қысу режимінде үлгіні жүктеуді қамтамасыз ететін максималды жүктемесі 1000 кН гидравликалық пресс, сондай-ақ электронды динамометр қолданылды (2-сурет).



Сурет 2 – Механикалық сынақтар жүргізілген гидравликалық пресс және электронды динамометр

Зерттеулер иілу сынақтарынан кейін алынған төрт жартылай үлгілерде жүргізілді. Үлгінің ортаңғы бөлігінің биіктігі мен Шири өлшеу калиппер көмегімен 0,1 мм дәлдікпен жүргізілді. сынақтар үшін үлгілер екі пластинаның арасына қойылады, осылайша бүйір беттері, қабырғаларға іргелес пішіндер пластиналардың жазықтықтарында, ал пластиналардың тіректері тегіс жазықтыққа тығыз орналасады. Үлгі пластиналармен бірге Престің тірек тақтасында орналасқан. Сынақтар кезінде жүктеменің өсу жылдамдығы (2,0 \pm 0,5) МПа/с деңгейінде сақталды [9,10].

Иілу кезіндегі беріктік шегі келесі формула арқылы есептелді:

$$\sigma_{ог} = \frac{P_{ог} \cdot l}{W_{x-x} \cdot h \cdot c} \quad (1)$$

мұнда:

- $\sigma_{ог}$ – иілу кезіндегі беріктік шегі, Па;
- c – сынық орнындағы үлгінің ені, м;
- h – сынық орнындағы үлгінің биіктігі, м;
- $P_{ог}$ – үлгінің ортаңғы бөлігіндегі жүктеме, Н;
- W_{x-z} – үлгінің қимасының кедергі моменті, м²;
- l – тіректердің арасындағы арақашықтық, м.

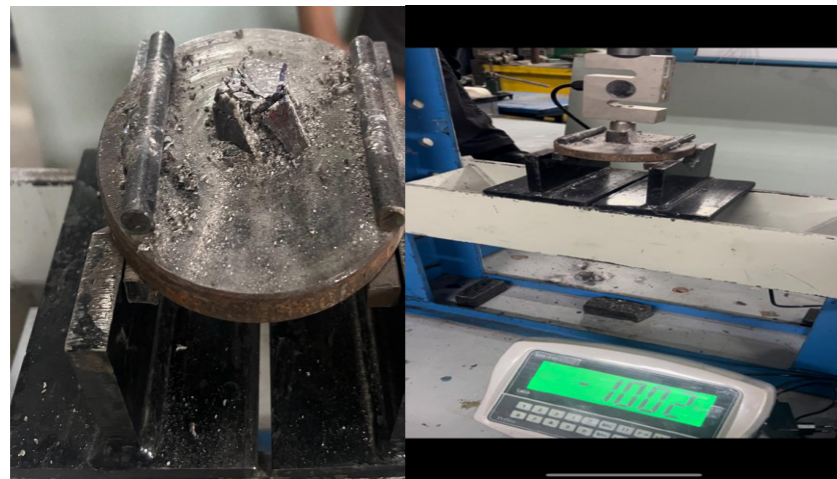
Жеке үлгіні сығымдау кезінде беріктік шегі сыну жүктемесінің (кН-да) пластинаның жұмыс аймағына қатынасы ретінде есептелді. (см²-мен), $S_{кл}$ яғни, 2,0 см², алты үлгіні сынаудың ең үлкен төрт нәтижесінің орташа арифметикалық мәні ретінде. Есептеу формула бойынша жүргізілді:

$$P_{сж} = \frac{S_{кл}}{2} \quad (2)$$

мұнда:

- $P_{сж}$ – қысу кезіндегі бұзушы жүктеме, кН;
- $S_{кл}$ – қысым пластиналарының тірек аймағы.

Полимербетон қоспасындағы көмірсулар талшығының пайызы полимербетон үлгісінің жалпы салмағының 0,4% – дан 4% - на дейін, ал базальт талшығы 0,5% - дан 1,4% - ға дейін өзгерді. Тәжірибенің дәлдігін қамтамасыз ету үшін әр мән үшін 10 үлгіні құрайтын көмірсулардың әр түрлі пайызы бар полимербетон қоспасынан үлгілер жасалды. Эталон ретінде жоғарыда аталған технологияны қолдана отырып, көмірсутегі қосылмаған 10 үлгі құйылды. Иілу және қысу үлгілерін сынау гидравликалық преста жүргізілді. (3-сурет).



Сурет 3 – Гидравликалық преста жүргізілген иілу және қысу үлгілерін сынау процесі

Көмір талшықты талшық және базальт талшығы қосылған иілу сынағаларының нәтижелері сәйкесінше 5-ші және 6-шы кестелерде келтірілген. Түсінікті болу

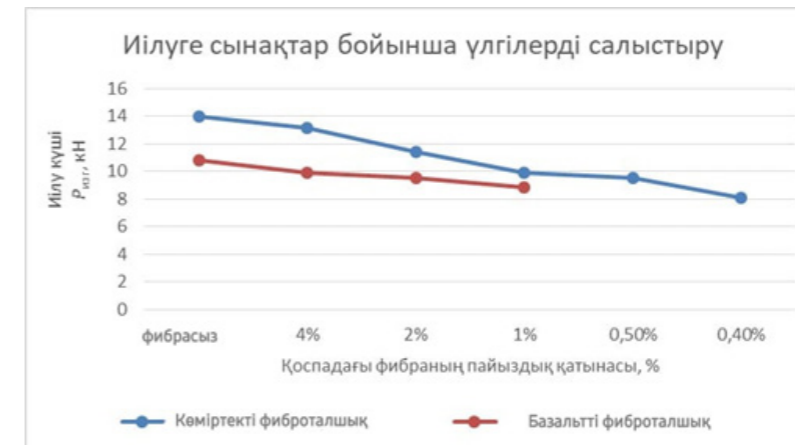
үшін иілу сынақтарының нәтижелері 4-суретте графикалық түрде берілген. Сығымдау үшін көмірсу талшығы мен базальт талшығы қосылған үлгілерді сынау нәтижелері сәйкесінше 7 –ші және 8 - ші кестелерде берілген, ал салыстырмалы график 5 – ші суретте көрсетілген.

Кесте 5 – Иілу кезінде көмірсутекті қосатын үлгілерді сынау

№ үлгі	Қоспадағы пайыздық қатынас %	Өлшемдері		Июші жүктеме $P_{ог}$, кН
		п, см.	h, см.	
1	фибрасыз	2,0	2,1	9.95
2	4	2,1	2,1	13.19
3	2	2,0	2,0	13.96
4	1	2,2	2,1	11.40
5	0,5	2,2	2,1	9,55
6	0,4	2,0	2,0	8,11

Кесте 6 – Иілу кезінде базальтты талшық қосылған үлгілерді сынау

№ үлгі	Қоспадағы пайыздық қатынас %	Өлшемдері		Июші жүктеме $P_{ог}$, кН
		п, см.	h, см.	
1	1,4	2,0	2,1	9,93
2	1	2,1	2,1	10,81
3	0,8	2,0	2,0	9,52
4	0,5	2,2	2,0	8,89



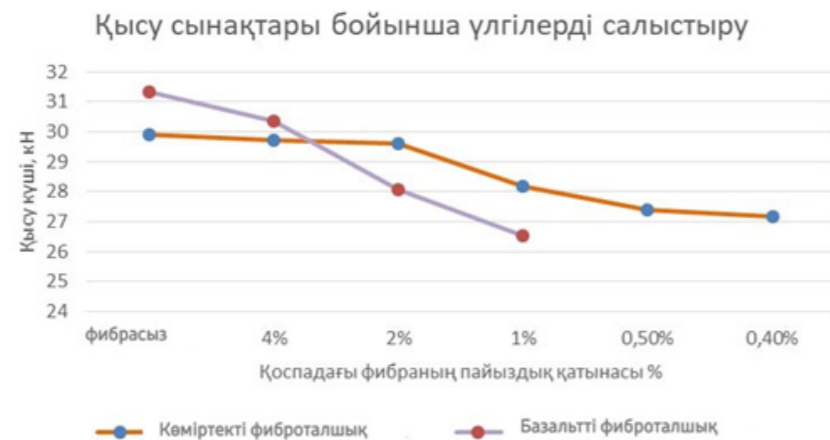
Сурет 4 – Көмірсу талшығы мен базальт талшығы қосылған үлгілерді иілу сынақ нәтижелерінің графикалық көрсеткіші

Кесте 7 – Сығымдау үшін көмірсулар қосылған үлгілерді сынау

Үлгідегі реттік саны	Қоспадағы пайыздық қатынас %	Өлшемдері		Бұзушы жүктеме, кН
		п, см.	H, см.	
1	фибрасыз	2,0	2,1	28,1
2	4	2,1	2,1	29,62
3	2	2,0	2,0	29,72
4	1	2,2	2,1	28,2
5	0,5	2,2	2,1	27,41
6	0,4	2,0	2,0	27,17

Кесте 8 – Сығымдау үшін базальт талшығын қосу арқылы үлгілерді сынау

Үлгідегі реттік саны	Қоспадағы пайыздық қатынас %	Өлшемдері		Бұзушы жүктеме, кН
		п, см.	H, см.	
1	1,4	2,0	2,1	30,37
2	1	2,1	2,1	31,32
3	0,8	2,0	2,0	28,06
4	0,5	2,0	2,1	26,54



Сурет 5 – Сығымдалған үлгілердің салыстармалы көрсеткіші

Қорытынды

Осылайша, жоғарыда көрсетілген зерттеулерге сүйене отырып, біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастырудың теориялық моделі оны жүзеге асырудың үш деңгейін қамтиды деген қорытынды жасауға болады. Базальт талшығының беріктігі көміртекті талшықтың беріктік шегінен сәл төмен болды (созылу үшін 13,96 кН, қысу үшін 29,9 кН).

Иілу беріктігі бойынша зерттеулер көміртекті талшықты талшықтың құрамдары базальт талшығымен салыстырғанда жоғары беріктікке ие деген

болжамдарды растады. Көміртекті талшықты үлгілердегі иілу беріктігінің шегі беріктік шегінен 2-3 есе және қысу үшін 15-20 есе асады.

Қаржыландыру

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен BR21882292 «Тұрақты құрылыс саласын интеграцияланған дамыту: инновациялық технологиялар, өндірісті оңтайландыру, ресурстарды тиімді пайдалану және технологиялық парк құру» бағдарламалық - нысаналы қаржыландыру шеңберінде орындалды.

ПАЙДАЛАҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Повстугар, В. И., Кодолов, В. И., Михайлова, Б.** Строение и свойства полимерных материалов. – М. : МГУ, 1988. – 192 с.

2 **Lee, S. M.** Development reinforced plastics.// London. New York. 1984. – № 3. P. 25–62.

3 **Пугачевич, П. П., Бегляров, Э. М., Лавыгин, И. А.** Поверхностные явления в полимерах. М., 1982. – 199 с.

4 **Перепелкин, К. Е., Серков, А. Т., Иванцова, Т. М.** Дефектность и гетерогенность микроструктуры химических нитей и их влияние на свойства. – Москва : Изд-во НИИТЭхим, 1989. – 48 с.

5 **Перепелкин, К. Е.** Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства // Часть 1. [Основные компоненты волокнистых композитов, их взаимодействие и взаимовлияние].- Химические волокна, 2005, № 4, 7–22 с.

6 **Кузнецов, А. А.** Применение статической имитации испытания при изучении особенностей формирования и разрушения комплексных химических нитей [Актуальные проблемы и направления развития материаловедения изделий сервиса, текстильной и легкой промышленности] – 2010. С. 100–111.

7 **Вершинина, И. А., Горнухина, О. В., Кувшинова, Е. М., Голубчиков, О. А.** Получение и свойства комбинированных полимерных материалов на основе 3,7,13,17-тетраметил-2,8,12,18-тетраэтил-5,15-бис(4-нитрофенил)-порфирина и его медного комплекса. // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2016. – № 59 (11). – С. 84–91.

8 **Зеленецкий, А. Н., Горбаткина, Ю., Куперман, Э., Зеленский, Е. С. & Пирогов, О. Н.** Взаимодействие волокно-матрица в композиционных материалах на основе полипропилена, стеклянных и базальтовых волокон // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1997. – 39 (10). – С.1659–1665.

9 **Krupnik, L. A., Yelemessov, K. K., Bortebayev, S. A., Baskanbayeva, D. D.** «Studying fiber-reinforced concrete for casting housing parts of pumps»// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 // 6/12 (96) 2018. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.151038>.

10 **Nikolay Iv. Petrov, Dinara Dzh. Baskanbayeva.** Reliability Estimate of Technical Systems Containing composite Materials through Analysis of the Concurrent

Risks// International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) ISSN (Online): 2347-3878// Volume 6 Issue 10, October 2018. <https://www.ijser.in/archives/v6i10/IJSER18304.pdf>.

REFERENCES

1 **Povstugar, V. I., Kodolov, V. I., Mikhailova, B.** Stroenie i svojstva polimerny`x materialov [The structure and properties of polymer materials]. – Moscow : Moscow State University, 1988. – 192 p.

2 **Lee, S. M.** Development reinforced plastics. London, New York, 1984. Vol.3. P. 25–62.

3 **Pugachevich, P. P., Beglyarov, E. M., Lavygin, I. A.** Poverxnostny`e yavleniya v polimerax [Surface phenomena in polymers]. M., 1982. – 199 p.

4 **Perepelkin, K. E., Serkov, A. T., Ivantsova, T. M.** Defektnost` i geterogennost` mikrostruktury` ximicheskix nitej i ix vliyanie na svojstva [Defectiveness and heterogeneity of the microstructure of chemical filaments and their effect on properties]. – Moscow : Publishing House of NIITECHIM, 1989. – 48 p.

5 **Perepjolkin, K. E.** Polimernye voloknistye kompozity, ih osnovnye vidy, principy poluchenija i svojstva. Chast` 1. Osnovnye komponenty voloknistyh kompozitov, ih vzaimodejstvie i vzaimovlijanie [Polymeric fi brous composites, their principal views, manufacturing and property . A part 1. The basic components of fi brous composites, their interaction and interference], Himicheskie volokna – Fibre chemistry. – 2005, № 4, P. 7–22.

6 **Kuznetsov, A. A.** Primenenie staticheskoj imitacii ispytaniya pri izuchenii osobennostej formirovaniya i razrusheniya kompleksnyh himicheskix nitej [Application of static imitation of test at studying of features of formation and destruction of complex chemical threads], Actual problems and directions of development of materials technology of products of service, textile and light industry. – 2010, P. 100–111.

7 **Vershina, I. A., Gornukhina, O. V., Kuvshinova, E. M., Golubchikov, O. A.** Poluchenie i svojstva kombinirovanny`x polimerny`x materialov na osnove 3,7,13,17-tetrametil-2,8,12,18-tetrae`til-5,15-bis(4ϕ-nitrofenil)-porfirina i ego mednogo kompleksa [Preparation and properties of combined polymer materials based on 3,7,13,17-tetramethyl-2,8,12,18-tetraethyl-5,15-bis(4ϕ-nitrophenyl)-porphyrin and its copper complex]. // News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. – 2016. – № 59 (11). – P. 84-91.

8 **Zelenetsky, A. N., Gorbatkina, Yu.A., Kuperman, A. M., Zelensky, E. S. & Pirogov, O. N.** Vzaimodejstvie volokno-matricza v kompozicionny`x materialax na osnove polipropilena, steklyanny`x i bazal`tovy`x volokon [Fiber-matrix interaction in composite materials based on polypropylene, glass and basalt fibers] // High molecular weight compounds. Series A. – 1997. – 39 (10). – P.1659–1665.

9 **Krupnik, L. A., Yelemessov, K. K., Bortebayev, S. A., Baskanbayeva, D. D.** «Studying fiber-reinforced concrete for casting housing parts of pumps»// Eastern-

European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 // 6/12 (96) 2018. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.151038>.

10 **Nikolay Iv. Petrov, Dinara Dzh. Baskanbayeva.** Reliability Estimate of Technical Systems Containing composite Materials through Analysis of the Concurrent Risks// International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) ISSN (Online): 2347-3878// Volume 6 Issue 10, October 2018. <https://www.ijser.in/archives/v6i10/IJSER18304.pdf>.

09.04.2024 ж. баспаға түсті.

13.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

30.05.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

***Д. Д. Басқанбаева, К. К. Елемесов, М. К. Мырзақұлов,**

Е. Е. Сарыбаев, Н. К. Аубакирова

Satpayev University, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 09.04.2024.

Поступило с исправлениями 13.04.2024.

Принято в печать 30.05.2024.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОТРАСЛЕВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

В данной статье представлены результаты разработки методики подбора рациональных составов полимербетона и фибробетона, обеспечивающих физико – механические характеристики новых конструкционных материалов для машиностроительной отрасли.

Новизной настоящих исследований является доказательство технической возможности и экономической целесообразности получения нового композиционного материала, который может быть использован в машиностроении при изготовлении оборудования для горно–металлургического комплекса

На текущий момент композитные материалы, такие как полимербетон и фибробетон, широко используются в различных отраслях промышленности. Исследованиями выявлено, что рациональным является использование заполнителя с прерывистой гранулометрией, состоящей из трех фракций. При этом более мелкие фракции заполняют пустоты в более крупных фракциях, что повышает плотность полимербетона и его прочность. Установлено, что целесообразно иметь фракции, отличающиеся друг от друга на порядок. Это позволило для полимербетона, для изготовления корпусов редукторов рекомендовать рациональный состав смеси.

Исследовано влияние основных факторов на характеристики полимербетон: частоты вращения рабочего органа смесителя, времени перемешивания компонентов и температуры смолы ЭД.

Разработана технология смешения компонентов в две стадии, что обеспечивает получение однородной смеси и изотропный материал после отверждения. Проведенные исследования подтвердили, что использование

этих материалов для корпусных деталей в машиностроении по техническим характеристикам не уступает традиционным материалам, таким как чугун и сплавы алюминия. Это подтверждает их роль в качестве более экономичных аналогов.

Оборудование, используемое на горных предприятиях и металлургических заводах, подвергается тяжелым условиям эксплуатации, таким как воздействие агрессивных сред, высокая запыленность, резкие перепады температур, транспортировка абразивных жидкостей и прочее. В связи с этим при производстве корпусов машин и механизмов приходится увеличивать их толщину, что приводит к избыточному расходу металла, сложностям в обслуживании и увеличению стоимости. Замена традиционных металлов композитными материалами с улучшенными характеристиками представляется целесообразной.

Ключевые слова: композитные материалы, фибробетон, полимербетон, компоненты, волокна, вибро стол.

***D. D. Baskanbayeva, K. K. Yelemessov, M. K. Myrzakulov,**

E. E. Sarybayev, Aubakirova N. K.

Satpayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

09.04.2024 ж. баспаға түсті.

13.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

30.05.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ON THE ISSUE OF THE USE OF COMPOSITE MATERIALS IN INDUSTRIAL ENGINEERING

This article presents the results of the development and methodology for the selection of rational compositions of polymer and fiber concrete, providing physical and mechanical characteristics of new structural materials for the engineering industry.

The novelty of these studies is the proof of the technical feasibility and economic feasibility of obtaining a new composite material that can be used in mechanical engineering in the manufacture of equipment for the mining and metallurgical complex.

At the moment, composite materials such as polymer and fiber concrete are widely used in various industries. Studies have revealed that it is rational to use a filler with intermittent granulometry consisting of three fractions. At the same time, smaller fractions fill voids in larger fractions, which increases the density of polymer concrete and its strength.

The influence of the main factors on the characteristics of polymer concretes is investigated: the rotation frequency of the mixer working body, the mixing time of the components and the temperature of the resin ED.

The technology of mixing the components in two stages has been developed, which ensures the production of a homogeneous mixture and an isotropic material after curing. The conducted studies have confirmed that the use of these materials

for body parts in mechanical engineering is not inferior in technical characteristics to traditional materials such as cast iron and aluminum alloys.

The equipment used in mining enterprises and metallurgical plants is subjected to severe operating conditions, such as exposure to aggressive media, high dust content, sudden temperature changes, transportation of abrasive liquids, etc. In this regard, in the production of machine bodies and mechanisms, it is necessary to increase their thickness, which leads to excessive metal consumption, difficulties in maintenance and an increase in cost. Replacing traditional metals with composite materials with improved characteristics seems appropriate.

Keywords: composite materials, fiber concrete, polymer concrete, components, fibers, vibrating table.

***А. З. Букаева¹, В. В. Поветкин², А. У. Табылов¹,
Г. С. Мамбеталиева¹, К. С. Рзаева¹**

¹Yessenov University, Қазақстан Республикасы, Ақтау қ.

²Farabi University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: amina.bukayeva@yu.edu.kz

БЛОКТЫ ТАСТЫ КЕСУГЕ ЖӘНЕ ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН ТЕРМИЯЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫ ТАЛДАУ

Мақала берік тау жыныстарынан, әсіресе граниттерден қапталған тасты өндіру процесін терең талдау болып табылады. Ол тек тау-кен технологиясын ғана емес, сонымен қатар блокты тасты өңдеу, тегістеу және алу процесінде тау жыныстарын тиімді жою үшін қолданылатын жаңа термиялық құралдардың дизайнын да қарастырады. Блокты тасты өңдеудің және өндірудің ұтымды әдістері және блокты тасты өңдеу және өндіру кезінде қатты тау жыныстарын бұзуда арналған жылу құралдарының дизайны сипатталған.

Мұндай құрылымдарды жасау үшін қолданылатын әдістер мен құралдар, сондай-ақ оларды өндірісте тиімді құралға айналдыратын жақсартылған энергия сипаттамалары егжей-тегжейлі қарастырылады. Бұл әдіс тау жыныстарындағы саңылаулардың дәлірек және тиімді қалыптасуын арттыру арқылы, тау-кен процесінің жалпы өнімділігін жақсартуға көмектеседі, сондықтан блокты тасты өндіру процесін көтеру мүмкіндіктерді береді. Бұл аспект, әсіресе, материалды өңдеудің жоғары өнімділігі мен дәлдігін қажет ететін беткі тасты өндіру саласында өте маңызды.

Сонымен қатар, мақалада ұсынылған талдау мен әзірлемелер тау жыныстарын өндіру және өңдеу процесінің тиімділігін едәуір арттыра алады, бұл саланың дамуына және өндірілетін өнімнің сапасын арттыруға ықпал етеді. Жұмыс органы, тас кесетін машинаның механикаландырылған агрегаты ретінде жоғары энергетикалық сипаттамалары бар жылу құралдарының жаңа конструкциялары дайындалып жасалды.

Кілтті сөздер: тау жынысы, бензин-ауа термоқұралы, тас кескіш машина, отын компоненттері, өнімділік.

Кіріспе

Қазіргі заманғы өнеркәсіпте тасты өңдеу процесі, әсіресе гранит сияқты берік жыныстардан блокты тасты өндіруде маңызды рөл атқарады. Бұл процестің негізгі аспектілерінің бірі-тау жыныстарын бұзу және блокты тасты өндіру үшін қолданылатын термиялық тас кесу құралдарын тиімді пайдалану. Бұл зерттеу олардың энергетикалық сипаттамалары мен өндірістік процестердегі тиімділігін арттыру мақсатында осындай термиялық құралдарды талдауға және дамытуға арналған. Бұл кіріспеде термиялық құралдардың қолданыстағы әдістері мен

конструкцияларына шолу жасалады, сонымен қатар зерттеудің мақсаттары мен міндеттері тұжырымдалады.

Материалдар мен әдістер

Қаптамалы тау жыныстарын өндіру бойынша жаңа кен орындарын құрудың тау-кен өндіру саласының арнайы тобына осындай мақсаттағы карьерлерді бөлуді айқындайтын өзіндік ерекшеліктері бар [1–3]:

а) тау жыныстарын өндіру кезеңінде қаптау (беріктік, сәндік қасиеттер және т. б.) сапалық көрсеткіштерінің сақталуын қамтамасыз ету шарты;

б) тау жыныстарының қаптау блоктарын кенжарлардан, тиеу және көтеру-тасымалдау операцияларынан оларды өндіру жағдайында қабыршақтаудың ерекше әдістерін іске асыру мүмкіндіктері;

в) кен орындарын ашу процестерінің арнайы тәсілдерін және қаптау тау жыныстарын әзірлеу әдістерін іске асыру

Алғашқы айырмашылықтар тобы тау-кен блоктарын өнеркәсіптік өндіру бойынша карьерлердің өндірістік қызметінің ерекшеліктерін белгілейді. Қаптау тау жыныстарының тұтас құрылымының сақталуын қамтамасыз ету жөніндегі іс-шараларға бағытталған тау-кен қаптау жыныстарының деректерін өндіру жөніндегі жұмыстарды жүргізу және құрал-саймандар үшін ережелер белгіленеді.

Карьерлік тау жыныстарын өндіру тәжірибесінің статистикасына сәйкес, минералдардың жарықтары мен микро бағдарларын пайдалану стандарттары сақталса да, тау массасынан жаппай блокты жыныстардың қабыршақтануы тұрақты түрде 25-30% құрайды, ал қалдықтар тұрмыстық ұсақталған тау жыныстары түрінде болады және т. б.

Тау жыныстарын карьерлік өндіру технологиясының негізгі бағыттарын белгілеу кезінде массив құрылымының изотроптылығы туралы терең ғылыми ақпарат қажет.

Карьердегі жұмысты ұйымдастыруда массив құрылымының анизотроптылығын білу үлкен маңызға ие, оны әзірлеу әдістері мен бағытын таңдау кезінде ескеру қажет. Массивтер құрылымының анизотропиясы граниттерде байқалады, бұл тастың белгілі бір бағыттарға бөлінуін жеңілдетеді.

Қаптау тасын алу үшін негізінен екі әдіс қолданылады:

1. Сыналар көмегімен тас блоктың қазықтарынан. Әдіс-тесіктер сыну сызығы бойымен бұрғыланады, содан кейін оларға Болат сыналар соғылады, оларға күшті механикалық соққы жасалады. Бұл әдіс көп уақытты қажет етеді [4].

2. Тасты отты ағынмен термиялық кесу. Бұл әдіс жоғары жылдамдықпен, салыстырмалы түрде төмен бағамен, жоғары жұмыс сапасымен ерекшеленеді.

Екінші әдіске толығырақ тоқталайық. Өндіріске енгізілген гранит массивіндегі жарықшақты қазбаларды беттік өңдеу мен үңгілеудің термиялық тәсілі жұмыстың тиімділігін едәуір арттырды. Сынуға дайындалған монолитті қосымша ашу мүмкіндігі пайда болды. Монолитті жару массивіндегі ойық қазбаларды термиялық үңғыманы қолдана отырып, ол төрт жазықтықта ашылған кезде жүргізіледі. Беткі жыныстарды өндіру кезінде жойылатын қатты тас блогы тау жыныстарының бір тік және көлденең жазықтықтарының қолданыстағы жүйесімен тұрақты

байланыста болады. Сондай-ақ, тау жыныстарының көлденең жазықтықтарын анықтау көлденең бағыттағы жыныстардың жарықтары орналасқан жерлерде орнатылатындығын ескеру қажет. Бұл технологияда бұл блоктардың кенжарлардан бөлінуін 25–40% - ға дейін арттыру мүмкіндігімен қапталған тау жыныстарының тұтас құрылымын қамтамасыз ету шарттарын айтарлықтай анықтайды.

Бірақ технологияның негізі ретінде көлденең бағыттар сипатына ие табиғи жарықтар бар [5]. Гранитті массивтерден алу операциялары кезінде қаптамалы тау жыныстарын өндіруде карьерлік өндірістің негізгі технологиялық жабдығы массивтерді тек тік бағытта алу мүмкіндігін білдіретін қолмен пайдалану принципіндегі бензин-ауа оттықтарын кешенді орнату түрінде қолданылады.

Қазбалардың тереңдігі негізінен 1,5-3 метрді құрайды, дегенмен бес немесе одан да көп метр тереңдікте ойық қазбаларды қазудың мысалдары белгілі. Қолмен қыздырғыштармен тереңдікте қазба жұмыстарын жүргізу қиын, оларды басқару қиынға соғады.

Тиісінше, конструктивті күрделілікті, сенімділікті және пайдаланудағы қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі техникалық тапсырманың талаптарына сәйкес тау жыныстарын термиялық кесу процесін өндіруге арналған техникалық қондырғыда жаңа конструкциялы технологиялық машинаның моделі әзірленіп, зертханалық жағдайда жүргізілді. Тұтастай алғанда, техникалық тапсырманың осы талаптарын орындау қолмен жұмыс істейтін бензин-ауа оттықтарын кешенді орнату түрінде машинаның жетілдірілген дизайнының өнімділігін арттыруға кең мүмкіндіктер берді.

Қолмен жұмыс істейтін бензин-ауа оттықтарын кешенді орнату құрылғысында тау жыныстарын кесу арқылы термиялық өңдеу үшін мыналар қарастырылған: термиялық кесу құрылғысы, байланыстырушы арматура, құбыр арматурасы, компрессорлық құрылғы, отын жүйесі, ауа қабылдау жүйесі және көлік-беру жүйесі жаңа кешенді қондырғы гранитті жынысты кесу жылдамдығы бойынша кесу арқылы термиялық өңдеу режимінің жоғары көрсеткішін қамтамасыз етеді 50 мм / мин.

Тиісінше, тау жыныстарын кесумен термиялық өңдеуге арналған кешенді қондырғының конструкциясындағы техникалық тапсырма талаптарына сәйкес жұмыс кеңістігінің нормативтік габариттік параметрлерін қамтамасыз ету бойынша талаптар сақталды: бойлық бағытта көлденең орын ауыстыру кемінде 4000 мм және 20000 мм-ден аспады; тұзу сызық бойынша қондырғы қозғалысының шамасы кемінде 6000 мм, қондырғының кесетін бөлігінің бұрылу радиусы тік жазықтық 1800 болды. Салмағы 20 кг болатын қондырғы берілген жылдамдықпен қозғалысты қадамсыз реттеуді болдырмайтын жетекпен жабдықталған [6].

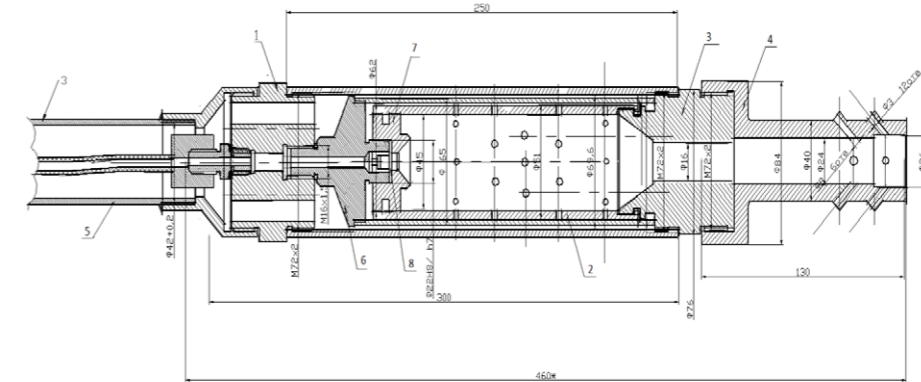
Зерттеу нәтижелері

Жұмыс органы ретінде біз термодинамикалық құралдардың (ТРВ-60, ТРВ12М) жетілдірілген жаңартылған конструкциялары жасалынды. Олар оттықтардың энергетикалық параметрлерін арттыруға мүмкіндік беретін термодинамикалық саптамалармен жабдықталған. Бұл құралдарға өнеркәсіптік сынақтар жүргізілді.

Тау жыныстарын кесу арқылы термиялық өңдеуге арналған кешенді қондырғыны эксперименттік зерттеу кезінде бірқатар техникалық сипаттамалар анықталды: ауа шығыны – 5 м³/мин, бензин немесе дизель отынының шығыны – 15 л/сағ, жұмыс саптамасының диаметрі – 13 мм, саптамалардың номиналды диаметрі – 20 (22) мм [5].

Сынақ нәтижесінде жалын алауының ұзындығы – 25 см, көлемді өңдеу өнімділігі 4000 см³/ мин.

Сондай-ақ, ВР-80 термиялық кескіштерінің дизайн нұсқалары жасалды (1-сурет) және оның аналогы ТР-60.



Сурет 1 – Термоқұрал БВР80

1-тарату басы, 2-жану камерасы, 3-саптама, 4-газдинамикалық саптама, 5-ұзартқыш құбыр, 6-жану камерасының артқы қақпағы, 7-ауа айналдырғыш, 8-инжектор

Қолмен жұмыс істейтін бензин-ауа термоқұралдарын кешенді орнатудың әзірленген схемасында тау жыныстарын кесу арқылы термиялық өңдеуге арналған жұмыс инжекторларын, жану камерасының бойлық өлшемдерінің параметрлерін, салқындату режимдерінде ауа ортасын жылжыту мақсатында қашықтықтың өлшемдік параметрлерін және т.б. пішіндеу және орналастыру орны қарастырылған [5].

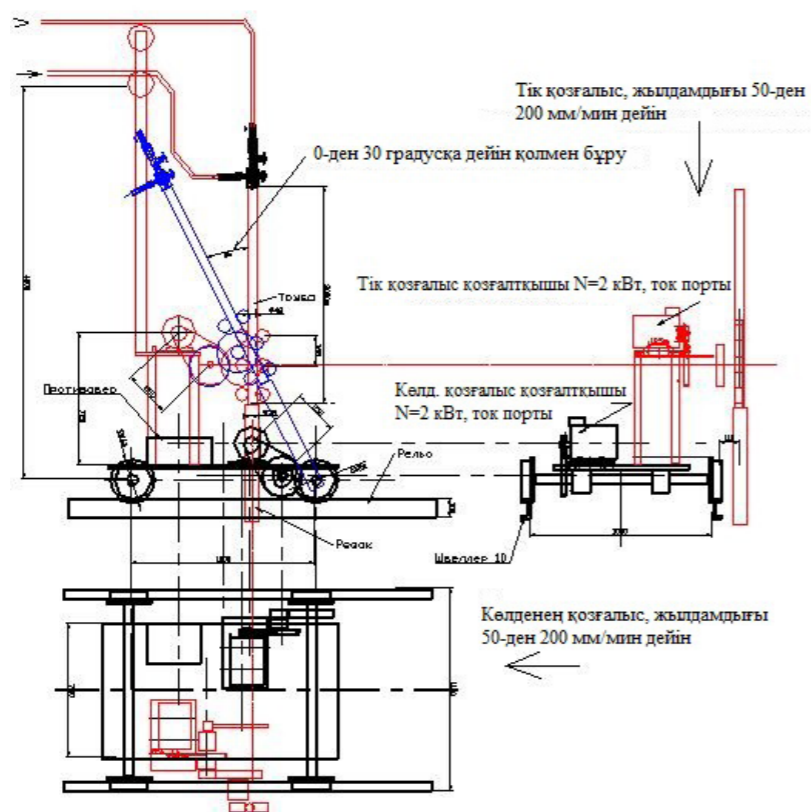
Механикаландырылған кесу процесін іске асырудың проблемалық мәселелерін шешуде қара текстураның минералдары мен басқа да жыныстардың қосындыларымен гранитті қалыптарды оқшаулау орындарында саңылаулардың тұрақты түзілуін атап өту қажет. Тау жыныстарының кесу сызығы бойындағы композициялар құрылымының гетерогенділігінің қалыптасуы тау жыныстары құрылымының тереңдігінде саңылаулардың пайда болуының үзік жылдамдығымен өңдеу режимінің бұзылуының себебі болып табылады.

Кескіш құралдың біркелкі емес қозғалу жылдамдығы бойынша өңдеу режимдерін белгілеу мүмкіндігін ескере отырып, тау жыныстарын термиялық құралдар кешенімен қолмен кесу технологиясы тесіктерді тесу операциясына теріс әсер етпейді. Қондырғының жұмыс органы қозғалысының мезгіл-мезгіл үзілу

жылдамдығының және тау жыныстарының термиялық бұзылу жағдайларының салдарынан жылдамдықты реттеудің автоматтандырылған жүйесін іске асыру міндеті күрделене түседі.

Мұндай шешімдердің әрекеттері атыс бұрғылау станоктарын жасау кезінде болды, онда кенжардың жылдамдығына байланысты термобурдың берілу жылдамдығын реттеу мәселесі шешіледі, яғни оттықтың саптамасының кесіндісінен кенжарға дейінгі оңтайлы қашықтықты сақтау мәселесі. Беру жылдамдығын реттеудің сенімді және қарапайым жүйелері табылған жоқ [6].

Біз тік ойықтарды қазуға арналған эксперименттік тас кесу қондырғысын жасадық. Бұл машинаның жұмыс органының барлық қозғалыс жетектері орнатылған арба. Жетек кесу сызығы бойымен рельс жолымен қозғалады. Жетекте бағыттаушы қареткасы бар кронштейн орнатылған, онда терморезак бар штанга топсалы тіректерге бекітіледі. Сол қареткада терморезактың айналу жетегі орнатылады (2-сурет).



Сурет 2 – Термодинамикалық жұмыс органы бар машинаның құрылымдық диаграммасы

Сонымен, термиялық кескіш арбамен бірге кесу сызығы бойымен қозғала алады, оның осіне айналады. Терморезактың кесу сызығы бойымен қозғалу жылдамдығы 0,25–1,5 см/С аралығында реттеледі. Кері айналу жылдамдығы тұрақты және 20 айн/мин. Құралдың айналу бұрышының мәні 90–150 градус аралығында орнатылады. Кезекті айналымы бар термиялық кескіш құрал тау жыныстарын өндеудің қажетті тереңдігіне дейін енгізіледі. Бұл процестерде құралдың қозғалыс жетегі әртүрлі бағыттарға ие.

Тас кескіш машинаның жұмыс органы ретінде БВР-80 терморезак орнатылады.

БВР-80 терморезакының техникалық сипаттамасы

Жанармай компоненттерінің шығындары:

- ауа, м3/мин - 18-20
- бензин, кг / сағ-35-40
- оттықтың диаметрі, мм – 60

Термоқұралдың бойлық берілуі. Термоқұралдың берілу жылдамдығы вариатормен реттеледі. Жетекші роликтің айналу санын өзгерту. Жылу құралының бойлық берілуін басқарудың электр схемасында Автоматты кері және әр жұмыс жүрісінен кейін уақыт бойынша реттелетін тоқтау қарастырылған, бұл жарықшақтың соңында Тік қабырға алуға мүмкіндік береді. Кері және инсульттің соңында тоқтау соңғы ажыратқыштардың көмегімен жүзеге асырылады. Электр схемасында түймелерді басқару пультінен термоқұралы бар қаретканы беруді тоқтату және қосу қарастырылған.

Талқылау

Механикаландырылған термоагрегаттардың жұмыс органдары ретінде бензин-ауа оттықтарын пайдалану салыстырмалы түрде төмен қуатпен шектеледі, оның ұлғаюы кезінде олардың жалпы өлшемдері, сондай-ақ алаудың шағын өлшемдері тез артады (0,1...0,15 м) алауды алаудың бүкіл ұзындығы бойынша өндеу схемасын пайдалану кезінде - «жолақ көзі». Осы өндеу схемасы бойынша оттықтың газ ағыны өңделетін бетке параллель бағытталған және тау жыныстарының ішіне 0,3-ке көмілген...Оттық саптамасының диаметрі 0,5. Керосин-оттегі термоқұралдың жанасу нүктесімен салыстырғанда мұндай реактивті жыныспен жанасу нүктесі 2 немесе одан да көп есе аз, сондықтан өндеу өнімділігі айтарлықтай төмен.

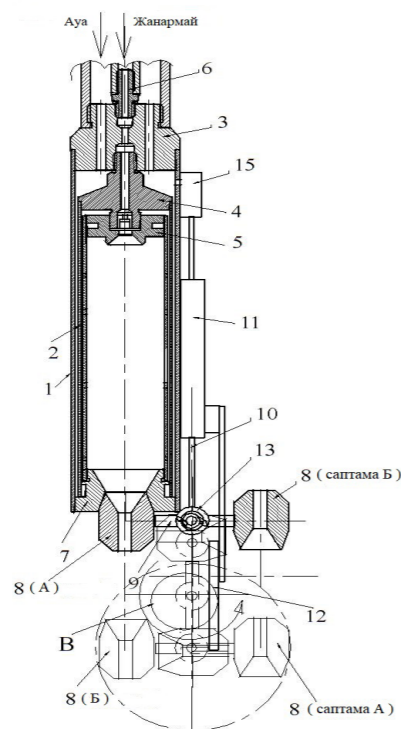
Алайда, бензин-ауа термоқұралдарының жанармай компоненттерімен жұмыс істеудің және қарапайымдылығына байланысты оларды механикаландырылған құрылғылардың жұмыс органдары ретінде пайдалану өзекті болып табылады.

Тау жыныстарын кесу арқылы термиялық өндеуге арналған кешенді қондырғының компоненттерін пайдалану мен энергетикалық құю процестерінің күрделілігіне байланысты оларды осы қондырғылардың жұмыс элементтері ретінде пайдалану маңызды

Арттыру жану процесін қамтамасыз етеді пайдалану мүмкіндігін арттыру өндірістік қуаттарды кешенді орнату өзгертпей, оның габариттік мөлшерлерін белгілеудің және салыстырмалы өлшемдік параметрлері беттерді өндеу

Тау жыныстарын кесу арқылы термиялық өңдеуге арналған кешенді қондырғының жұмыс органы ретінде схемасы 3-суретте көрсетілген термодинамикалық құралдың жаңа тиімді дизайны жасалды [5].

Бұл схемада саптаманың температурасын рұқсат етілгеннен аспайтын етіп ұстап тұруға мүмкіндік беретін екі саптаманы кезекпен пайдалану ұсынылады, бұл соңғысының қызмет ету мерзімін ұзартады [7].



Сурет 3 – Екі саптамалы тасты кесуге арналған термиялық кескіш

1-термоқұрал, 2-жұмыс жану камерасы, 3-тарату басы, 4-инжектор корпусы, 5-ауа бұрғышы, 6-жанармай штуцері, 7-саптама корпусы, 8-ауыстырылатын саптама, 9, 10, 11, 12, 13, 14 – саптамаларды бұру және ауыстыру механизмі

Термиялық кесу құралының тірек құбырының салмақ жүктемесін азайту және құралды кесу мен берудің максималды тереңдігі жағдайында оның құрылымының қаттылығын арттыру арқылы тау жыныстарын кесу арқылы өңдеу процестерінің жоғары сапасы мен өнімділігіне қол жеткізудің кең мүмкіндіктерін ұсынатын тау жыныстарына арналған термиялық кесу құралының жаңа жетілдірілген дизайны жасалды [8–10].

Әзірленген құрылғыны іске асыру термиялық кескіш құралдың құбырын төменгі бағытта ұзындығы бойынша пайдалану жағдайында тасты тау жыныстарын кесу операциялары кезінде термиялық кескіш құралдың құбырының қаттылық

параметрлерін арттыруды айқындайды. Термиялық кескіш құралдың құбырының төменгі бағытта қозғалу тереңдігі 6 м немесе одан да көп жетеді.

Құбырдың қаттылық параметрлерін арттыру газ ағындарының әсерінен жасалған термиялық кескіш құралдың амплитудалық тербелмелі қозғалыстарының пайда болуына жол бермейді және тау жыныстарының қажетті профилін өндіруге мүмкіндік береді, бұл тау жыныстарын өңдеу кезінде кесу режимдерінің сапасын қалыптастыруға оң әсер етеді

Сонымен қатар, жетек кабельдерінің кернеу күші құбыр мен құралдың салмақ күштерінің берілістерді орау процестеріне әсерін азайтады, бұл құбыр мен құралдың бастапқы күйіне тез оралу жағдайында роликті корпусарда құбырдың сырғу процесін айтарлықтай азайтады.

Алынған сипаттамалар 1 кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Электр жетегі бар тау жыныстары массивіндегі ойық қазбаларды кесуге арналған машинаның негізгі техникалық сипаттамалары

Атауы	Шамасы
Кесу ені кемінде, мм	80
Кесу ұзындығы кемінде, мм	20000
Кесу тереңдігі кемінде, мм	6000
Отын түрі	дизель
Тұтыну артық емес, л / сағ	50
Тотықтырғыш	ауа
Термоқұрал, ұзындығы, мм	4000 - 7000
Салмағы артық емес, кг	25
Гранит бойынша кесу жылдамдығы кемінде, мм / мин	50

Қорытынды

Жүргізілген эксперименттер нәтижесінде пайда болған саңылаудың ені 7 сантиметрден асатындығын анықтады, бұл стандартты терморезактың сыртқы өлшемдерінен үлкен.

Осыған байланысты қуатты термодинамикалық жұмыс органымен жабдықталған машинаға арналған арнайы құрылғы жасалды.

Бұл құрылғы көлденең және тік бағытта машинаның біркелкі қозғалысын қамтамасыз ете отырып, ойық қазбаларды жүзеге асыруға арналған.

Бұл тәсіл тау жыныстарындағы саңылаулардың дәлірек және тиімді қалыптасуын қамтамасыз ете отырып, тау-кен процесінің жалпы өнімділігін жақсартып, блокты тасты өндіру процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Синельников, О. Б. Добыча природного облицовочного камня – М. : Изд-во РАСХН, 2005. – 244 с.

2 Левковский, Г. Л. и др. А. С. СССР № 1789687. Способ добычи блоков природного камня. Оpubл. 23.01.1993, бюлл. № 3.

3 **Поветкин, В. В., Керимжанова, М. Ф., Нурымов, Е. К., Букаева, А. З.** Разработка опытного образца машины для щелевых выработок при добыче гранитных блоков // Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». – Донецк : МСМ, 2016. Т. 2., – С. 96–100.

4 **Povetkin, V., Bukayeva, A., Zhauyt, A., Nurymov, Ye., Askarov, Ye.** Study of thermal stonecutting tools // Journal of Vibroengineering Procedia. – Latvia, 2016. – Vol. 8. – P. 22–27.

5 **Поветкин, В. В., Букаева, А. З., Нурымов, Е. К.** Составление уравнения движения манипулятора методом уравнений лагранжа второго рода // Вестник КазНИТУ, № 1 (126), 2018. – 129–138 с.

6 **Татыбаев, М. К., Поветкин, В. В., Жолмырзаева, Р.** Интенсификация процессов горения в термоинструментах для разрушения горных пород // Вестник КазНИТУ, № 6 (136), 2019. – 205–208 с.

7 **Поветкин, В. В., Аскараров, Е. С., Поветкин, А. В., Шуханова, Ж. К.** Инновационный патент РК №29758. Термический резак для резки камня с двумя соплами. Оpubл. 15.04.2015, бюлл. № 4.

8 **Поветкин, В. В., Аскараров, Е. С., Поветкин, А. В., Керимжанова, М. Ф.** Инновационный патент РК №30458. Устройство для вертикальной подачи трубы с термическом резакком для резки камня. Оpubл. 15.10.2015, бюлл. № 10.

9 **Povetkin, V., Bukayeva, A., Nurymov, Y., Khandozhko, A.** Theoretical basics of flame-jet rock destruction // Vestnik KazNRTU, Vol. 2(120), 2017. p. 109–115.

10 **Povetkin, V., Khandozhko, A., Bukayeva, A., Nurymov, Ye.** Study of the application high velocity thermal spraying tools used in technological processes and production // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – Almaty, 2017. – № 5. – P. 190–201.

19.04.2024 ж. баспаға түсті.

13.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

15.05.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

REFERENCES

1 **Sinel'nikov, O. V.** Doby'cha prirodnogo obliczovochного kamnya [Extraction of natural facing stone] – Moscow : Publishing House of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2005. – 244 p.

2 **Levkovskij, G. L. i dr. A.S.** SSSR № 1789687. Sposob doby'chi blokov prirodnogo kamnya [USSR No. 1789687. Method of extracting natural stone blocks. Publ. 01/23/1993, bulletin. No. 3.]

3 **Povetkin, V. V., Kerimzhanova, M. F., Nury'mov, E. K., Bukayeva, A. Z.** Razrabotka opy'tnogo obrazca mashiny' dlya shhelevy'x vy'rabotok pri doby'che granitny'x blokov [Development of a prototype machine for slot workings in the extraction of granite blocks] // Collection of proceedings of the XXIII International

Scientific and Technical Conference. «Mechanical engineering and technosphere of the 21st century». – Donetsk : MSM, 2016. Т. 2., – P. 96–100.

4 **Povetkin, V., Bukayeva, A., Zhauyt, A., Nurymov, Ye., Askarov, Ye.** Study of thermal stonecutting tools // Journal of Vibroengineering Procedia. – Latvia, 2016. – Vol. 8. – P. 22–27.

5 **Povetkin, V. V., Bukayeva, A. Z., Nury'mov, E. K.** Sostavlenie uravneniya dvizheniya manipulyatora metodom uravnenij lagranzha vtorogo roda [Compilation of the equation of motion of a manipulator using the method of Lagrangian equations of the second kind] // Bulletin of KazNITU, No. 1 (126), 2018. – 129–138 p.

6 **Taty'baev, M. K., Povetkin, V. V., Zholmy'rzaeva, R.** Intensifikaciya processov gorenija v termoinstrumentax dlya razrusheniya gorny'x porod [Intensification of combustion processes in thermal tools for the destruction of rocks] // Bulletin of KazNITU, No. 6 (136), 2019. – 205–208 p.

7 **Povetkin, V. V., Askarov, E. S., Povetkin, A. V., Shuxanova, Zh. K.** Innovacionny'j patent RK №29758. Termicheskiy rezak dlya rezki kamnya s dvumya soplami [Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 29758. Thermal stone cutter with two nozzles]. Publ. 04/15/2015, bulletin. No. 4.

8 **Povetkin, V. V., Askarov, E. S., Povetkin, A. V., Kerimzhanova, M. F.** Innovacionny'j patent RK №30458. Ustrojstvo dlya vertikal'noj podachi trubny' s termicheskom rezakom dlya rezki kamnya [Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 30458. Device for vertical pipe feeding with thermal cutter for cutting stone]. Publ. 10/15/2015, bulletin. No. 10.

9 **Povetkin, V., Bukayeva, A., Nurymov, Y., Khandozhko, A.** Theoretical basics of flame-jet rock destruction // Vestnik KazNRTU, Vol. 2(120), 2017. P. 109–115.

10 **Povetkin, V., Khandozhko, A., Bukayeva, A., Nurymov, Ye.** Study of the application high velocity thermal spraying tools used in technological processes and production // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – Almaty, 2017. – № 5. – P. 190–201.

***А. З. Букаева¹, В. В. Поветкин², А. У. Табылов¹,**

Г. С. Мамбеталиева¹, К. С. Рзаева¹

¹Yessenov University, Республика Казахстан, г. Актау

²Farabi University, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 19.02.2024.

Поступило с исправлениями 13.04.2024.

Принято в печать 15.05.2024.

АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РЕЗКИ И ОБРАБОТКИ БЛОЧНОГО КАМНЯ

Статья представляет собой углубленный анализ процесса производства облицовочного камня из прочных пород, особенно гранитов. Он рассматривает не только горнодобывающую технологию, но и разработку новых термических инструментов, используемых для эффективного удаления горных пород в

процессе обработки, шлифования и извлечения блочного камня. Описаны рациональные методы обработки и добычи блочного камня и конструкция тепловых приборов для разрушения твердых пород при обработке и добыче блочного камня.

Подробно рассматриваются методы и инструменты, используемые для создания таких конструкций, а также улучшенные энергетические характеристики, которые делают их эффективным инструментом в производстве. Этот метод помогает улучшить общую производительность процесса добычи за счет увеличения более точного и эффективного образования щелей в горных породах и, следовательно, повышения производительности процесса добычи блочного камня. Этот аспект особенно важен в области производства поверхностного камня, который требует высокой производительности и точности обработки материала.

Кроме того, анализ и разработки, представленные в статье, могут существенно повысить эффективность процесса добычи и переработки горных пород, что будет способствовать развитию отрасли и повышению качества производимой продукции. В качестве рабочего органа, механизированного агрегата камнерезной машины разработаны и изготовлены новые конструкции термоинструментов с высокими энергетическими характеристиками.

Ключевые слова: горная порода, бензовоздушная термоинструмент, камнерезная машина, топливные компоненты, производительность.

*A. Z. Bukayeva¹, V. V. Povetkin², A. U. Tabylov¹,

G. S. Mambetaliyeva¹, K. S. Rzayeva¹

¹Yessenov University, Republic of Kazakhstan, Aktau

²Farabi University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 19.02.2024.

Received in revised form 13.04.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

ANALYSIS OF THERMAL TOOLS FOR CUTTING AND PROCESSING BLOCK STONE

The article is an in-depth analysis of the production process of facing stone from durable rocks, especially granites. He considers not only mining technology, but also the development of new thermal tools used to effectively remove rocks during the processing, grinding and extraction of block stone. Rational methods of processing and extraction of block stone and the design of thermal devices for the destruction of hard rocks during processing and extraction of block stone are described.

The methods and tools used to create such structures are discussed in detail, as well as the improved energy characteristics that make them an effective tool in production. This method helps to improve the overall productivity of the mining process by increasing the more accurate and efficient formation of cracks in rocks and, consequently, increasing the productivity of the block stone mining process. This aspect is especially important in the field of surface stone production, which requires high productivity and precision processing of the material.

In addition, the analysis and developments presented in the article can significantly improve the efficiency of the mining and processing of rocks, which will contribute to the development of the industry and improve the quality of products. As a working body, a mechanized unit of a stone-cutting machine, new designs of thermal tools with high energy characteristics have been developed and manufactured.

Keywords: rock, fuel-air thermal tool, stone-cutting machine, fuel components, performance.

***Р. М. Искаков¹, А. А. Гуляренко¹, Т. Әбілжанұлы^{1,2},
Е. Ю. Ремшев³, В. А. Хан¹**

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана;

²ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, г. Алматы;

³ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет имени Д. Ф. Устинова», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

*e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВЫХ НОЖЕЙ ШРЕДЕРА

В статье рассматриваются конструкции шредеров и его рабочих органов. Полученные экспериментальные результаты позволили получить зависимости по распределению раздробленных кусочков елочных веток и костных остатков от габаритов и массы отходного кормового сырья, цикла контактирования дисковых ножей с поступающим на разрушение сырьем. Выявлено, что значительная часть раздробленных кусочков елочной ветки с диаметром 6 мм составляет размер 27–30 мм (72 %). При этом повлияло то, что в ряду был задействован один дисковый нож с толщиной 8 мм и шагом между режущими кромками на дисковом ноже 30 мм. В случае дробления елочной ветки или костных остатков с шириной, равной толщине 2–3 дисковых ножей наблюдается неравномерное, но более мелкое дробление из-за уменьшения расстояния между кромками соседних дисковых ножей. Построены структурные схемы \bar{V} уровня иерархии системного анализа процесса разрушения кормового сырья растительного и животного происхождения, акцентирующих внимание на конструктивные отличия шредера и дисковые ножи шредера. Выявлено, что основными факторами, приводящими к эффективности шредера являются уменьшение длительности образования надрезов, трещино- и щелеобразования в разрабатываемых кусочках; изменение конструкции дисковых ножей за счет изменения количества кромок, уменьшения шага между кромками, остроты и конфигурации кромок, а также увеличения толщины дисковых ножей, что обеспечивает ширину захвата разрабатываемого сырья и равномерность получаемой фракции.

Ключевые слова: шредер, разрушение, дробление, отрыв, сдвиг, диски, щели, корма из отходов, мясокостные отходы, ветки.

Введение

Одним из популярных видов технологического оборудования для разрушения кормового сырья крупных и средних размеров являются шредеры. Из практики ясно, что наиболее удобно в шредере производить дробление сырья продолговатой формы (кости, ветки), характеризующегося сниженной разрывной

мощностью. Поэтому нередко шредеры используются для разрушения сырья, у которых длина значительно превышает ширину. При работе шредера по виду нагруженного состояния разрушение измельчаемого сырья происходит путем разрушения отрывом и сдвигом. В результате работы шредера наблюдается вначале пластическое деформирование разрабатываемого сырья, а далее хрупкое его разрушение, заключающееся за счет развития трещины, щели в результате растраты упругой энергии при пластическом изменении у конца трещины и щели. Известно, что маленькая щель или надрез в разрабатываемом куске делает этот кусок слабее, т.е. начинает происходить разрушение от усталости. При этом не надо забывать, что основной вывод теории Гриффитса в том, что присутствие трещины не является еще явлением, стоящим перед разрушением. Ведь разрушение наступит тогда, когда будет произведена нагрузка, влияющая на увеличение размера трещины. Отсюда увеличение нагрузки и напряжений значительно зависит от острия воздействующего рабочего органа [1].

Наиболее сложным фактором шредеров является геометрия и ориентация рабочих органов - ножей, которые напрямую влияют на эффективность [2]. Ратнам и др. сравнили ножи для дробления с двойной, а также шестиконечной кромками и обнаружили, что большее количество кромок снижает эффективность дробления и увеличивает риск проскальзывания разрабатываемого сырья и наматывания его на ножи [3]. Поэтому вопросы изучения шредеров и исследование работы рабочих органов шредера - ножей являются важными при разрушении твердого кормового сырья.

Материалы и методы

При переработке отходов зачастую используют такое технологическое оборудование, как шредеры. Главным в шредере являются рабочие органы, такие как дисковые ножи, которые имеют ряд режущих кромок, также важны такие параметры как толщина дискового ножа, размер шага между режущими кромками, что влияет на интенсивность дробления и фракционный размер раздробленных кусочков. Поэтому объектом исследования является процесс разрушения отходов растительного и животного происхождения с применением шредера и его рабочих органов.

Сравнительный анализ производили на основании патентного поиска и научных публикаций по наиболее эффективным конструкциям существующих шредеров и их рабочих органов. Эксперименты осуществляли с применением двухроторного шредера марки EB180. Дроблению подвергали древесные отходы (елочные ветки), мясокостные конфискаты и костные остатки различной массы и габаритов. Системный подход к анализу разрушения твердого кормового сырья рабочими органами шредера производили с учетом построения структурных схем \bar{V} уровня иерархии системного анализа процесса разрушения кормового сырья растительного и животного происхождения, акцентирующих внимание на конструктивные отличия шредера и дисковых ножей шредера. Определение размеров раздробленных кусочков производили с применением мерительных инструментов, электронных весов MW-300T, сит.

Результаты и обсуждение

Особенное значение в увеличении производства кормов имеет использование всех видов отходов и конфискатов, имеющих кормовую ценность для сельскохозяйственных животных и птиц. При этом используются различные способы производства кормов, разрабатываются и производятся новые shredders с различными рабочими органами для осуществления необходимых процессов переработки отходов.

Известен shredder [4] (рисунок 1), предназначенный для переработки древесных отходов. Shredder с валками имеет различные параметры дисков, отличающийся тем, что для совмещения нескольких стадий дробления диски с одинаковыми параметрами поперечно размещены на каждом валке. Валок состоит из вала 1, различных дисков 2 и 3 и промежуточных колец 4.

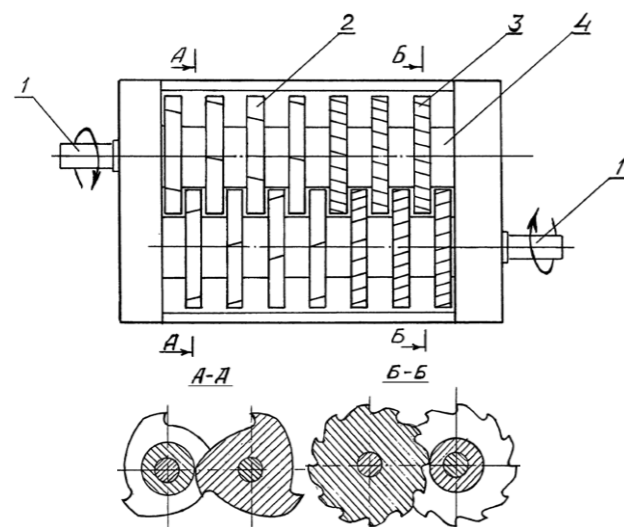


Рисунок 1 – Шредер [4].

1 – вал, 2, 3 – различные диски, 4 – промежуточные кольца

Известны рабочие органы shreddera [5] (рисунок 2). Основные детали shreddera - валы 1, диски 2, разделенные промежуточными кольцами 3 и дополнительными промежуточными кольцами 4. Дополнительные промежуточные кольца 4 установлены на смежных валках, образуя пары 5 дополнительных промежуточных колец 4. Дополнительные промежуточные кольца 4 снабжены штырями 6.

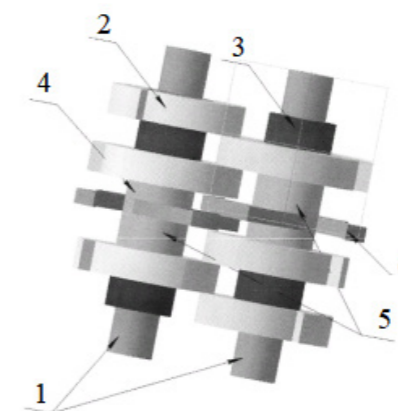


Рисунок 2 – Рабочие органы shreddera [5].

1 – валы, 2 – диски, 3 – промежуточные кольца, 4 – дополнительные промежуточные кольца, 5 – пары, 6 – штыри

Известен нож shreddera с двойной и тройной кромками [6] (рисунок 3). Угол резания был зафиксирован на уровне 35°, а длина режущей кромки была зафиксирована на уровне 10,44 мм как для ножей с двойной, так и с тройной кромкой. Оптимальным сочетанием геометрии и ориентации ножа является нож с двойной кромкой и спиральной ориентацией

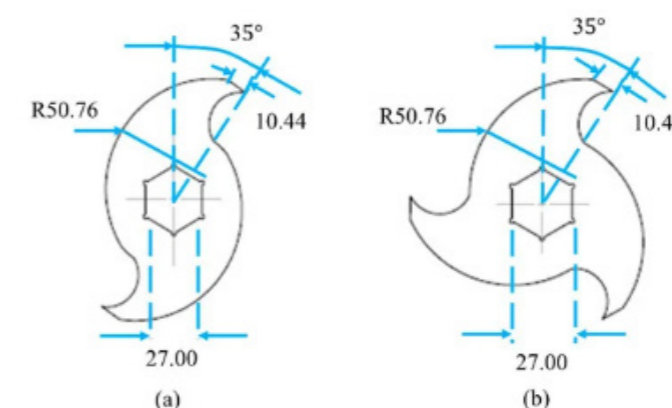


Рисунок 3 – Нож shreddera с двойной и тройной кромками [6]

Известен нож shreddera [7] (рисунок 4). Конструкция измельчающего ножа имеет S-образную форму с двумя измельчающими концами. Диагональный разрез позволяет ножу быстро затачиваться.

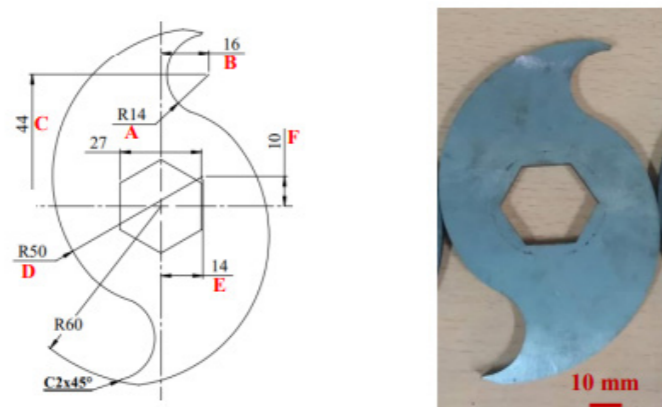


Рисунок 4 – Нож шредера [7]

Известен нож двухвального шредера [8] (рисунок 5). Двухвальный интегрированный шредер имеет корпус машины, в котором измельчительный нож соединен с силовой системой.

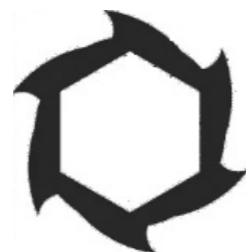


Рисунок 5 – Нож двухвального шредера [8]

На рисунках 6-7 представлена рабочая зона двухроторного шредера марки EB180. Работа данного шредера обеспечивается встречным вращением двух роторов, на которых закреплены массивные дисковые ножи с режущими кромками.



Рисунок 6 – Фрагменты разрушения мясокостного конфиската в шредере EB180

а - рабочие органы шредера; б - разрушение мясокостного конфиската режущими кромками дисковых ножей шредера; в - раздробленные кусочки мясокостного конфиската



Рисунок 7 – Фрагменты разрушения древесного отхода (елочной ветки) в шредере EB180

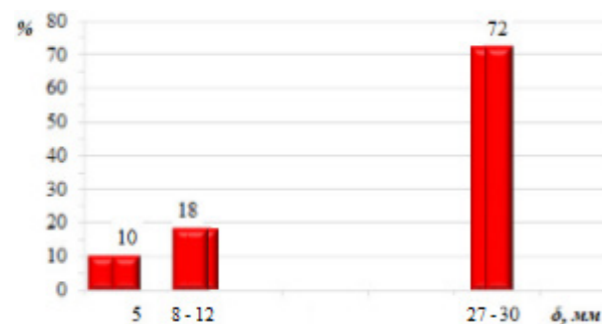
а – древесный отход (елочная ветка) и раздробленные древесные кусочки; б – разрушение елочной ветки режущими кромками дисковых ножей шредера; в – раздробленные кусочки елочной ветки

Техническая характеристика шредера EB180 представлена в соответствии с таблицей 1.

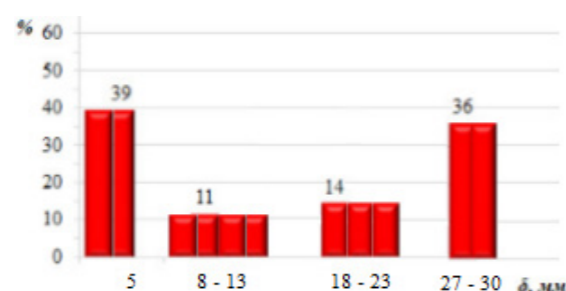
Таблица 1 – Техническая характеристика шредера EB180

№	Технические параметры	Фактические значения
1	Мощность мотора, кВт	1,5
2	Мотор однофазный, В, Гц	220, 50
3	Редуктор	K47,1
4	Входная скорость, об/мин	25
5	Входной крутящий момент, Нм	400
6	Диаметр входного вала, мм	35
7	Характеристики дискового ножа и материал	90*8,9 CrSi
8	Количество дисковых ножей, шт.	21
9	Толщина дискового ножа, мм	8
10	Расстояние между ножами в ряду, мм	8
11	Размер внутренней лопасти, мм	180*190
12	Ширина заглушки, мм	280
13	Размеры шредера, мм	590*350*122
14	Вес, кг	120

С применением шредера EB180 мы провели эксперименты по дроблению древесных отходов (елочных веток), мясокостных конфискатов и костных остатков. На рисунке 8 представлено распределение раздробленных кусочков в результате дробления елочных веток различной массы, диаметра и длины посредством шредера EB180.



а – распределение раздробленных кусочков елочной ветки с $m=10,68$ гр, диаметр 6 мм, $l=400$ мм



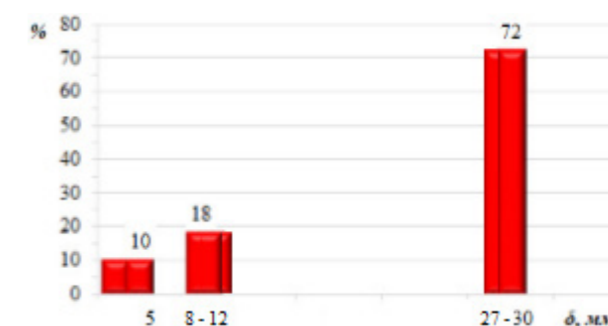
б – распределение раздробленных кусочков елочной ветки с $m=22,84$ гр, диаметр 14 мм, $l=240$ мм

Рисунок 8 – Результаты дробления елочных веток шредером EB180

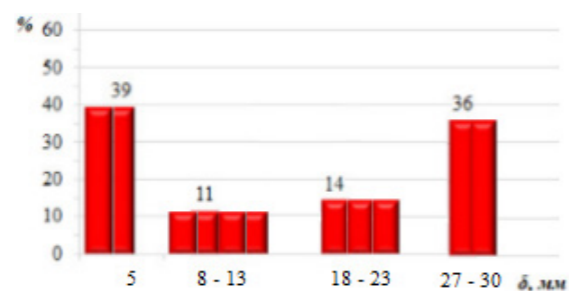
На рисунке 8 а незначительную часть составляют кусочки с размером менее 5 мм (10%, $m=1,07$ гр) и с размером 8-12 мм (18%, $m=1,92$ гр). Значительная часть раздробленных кусочков составляет размер 27-30 мм, массой $m=7,69$ гр и это связано с большей частью с геометрией дискового ножа. В частности на дисковом ноже имеется ряд режущих кромок, расстояние между которыми составляет 30 мм и отсюда следует то, что захваченная ветка дисковыми ножами подвергается надламливанию и отрезанию через шаг, равный 30 мм. Однако некоторые кусочки составляют размер чуть мень 30 мм, что связано скорее всего с проскальзыванием. В результате дробления наблюдается крошимость, что связано с разделением частиц и их резания об острые кромки под силовым воздействием. На рисунке 8 б уже не доминирует состав раздробленных кусочков с размером 27-30 мм (достигает 36%, $m=8,22$ гр), что связано с тем, что сырье - елочная ветка имеет диаметр 14 мм и по своему размеру охватывает ширину двух дисковых ножей. Таким образом при дроблении задействуется и соседний дисковый нож. Здесь соседние ножи воздействуют одновременно, у которых режущие кромки расположены не параллельно друг другу, а с шагом 10 мм. Хотя на каждом дисковом ноже шаг между режущими кромками остается прежним, равным 30 мм, но при этом не выдерживается строго по отношению к соседнему ножу, у которого режущая кромка находится через 10 мм, что влияет на надрез

и резание с разламливанием ветки. Поэтому сочетание воздействия режущих кромок двух дисковых ножей сказывается на распределении раздробленных кусочков. Здесь также в результате дробления получаются кусочки с размером менее 5 мм (39%, $m=8,91$ гр), с размером 8-13мм (11%, $m=2,51$ гр), и с размером 18-23 мм (14%, $m=3,2$ гр). Таким образом наблюдается неравномерное, но более мелкое дробление, вызванное воздействием большего числа режущих кромок, имеющих у двух дисковых ножей, но с меньшим шагом между режущими кромками одного дискового ножа по отношению к режущим кромкам соседнего дискового ножа.

На рисунке 9 представлены результаты дробления костных остатков с различной шириной и длиной. На рисунке 9 а доминирует состав раздробленных кусочков с размером 14-18 мм (достигает 36%, $m=15,76$ гр), что связано с тем, что сырье - костный остаток имеет ширину 40 мм и по своему размеру охватывает ширину трех дисковых ножей, включая расстояния между ножами. Здесь соседние ножи воздействуют одновременно по ширине костного остатка, у которых режущие кромки расположены не параллельно друг другу и шаг 30 мм не выдерживается строго по отношению к соседнему ножу, что влияет на надрез и резание с разламливанием костного остатка. Поэтому сочетание воздействия режущих кромок дисковых ножей сказывается на распределении раздробленных кусочков. Здесь также в результате дробления получаются кусочки с размером менее 5 мм (22%, $m=9,6$ гр), с размером 8-12 мм (14%, $m=6,18$ гр), с размером 19-23 мм (28%, $m=12,19$ гр). Здесь также наблюдается неравномерное, но более мелкое дробление, вызванное воздействием большего числа режущих кромок трех дисковых ножей. На рисунке 9 б незначительную часть составляют кусочки с размером менее 5 мм (18%, $m=6,48$ гр) и с размером 17-21 мм (17%, $m=6,44$ гр). Значительная часть раздробленных кусочков составляет размер 24-27 мм, массой $m=24,80$ гр и это связано с большей частью с шириной костного остатка, соответствующего ширине 28 мм, охватывающему ширину двух дисковых ножей, включая расстояния между ножами. Однако помимо разницы в ширине костных остатков, расхождение по сравнению с дроблением елочных веток связано и с тем, что костные остатки имеют больший вес.



а - распределение раздробленных кусочков елочной ветки с $m=10,68$ гр, диаметр 6 мм, $l=400$ мм



б - распределение раздробленных кусочков елочной ветки с m=22,84 гр, диаметр 14 мм, l=240 мм

Рисунок 9 – Результаты дробления костных остатков шредером EB180

В шредере режущие ножи играют очень важную роль в процессе разрушения твердого кормового сырья. При этом ножи шредера помимо функции резания сочетают в себе сопутствующее раздавливание с раскалыванием разрушаемого сырья. Все это определяет размер раздробленных кусочков. Требования, при которых происходит разрушение на более мелкие кусочки в шредере не идентичны. Вследствие чего имеется определенный цикл контактирования рабочих органов с поступающим на разрушение сырьем, что выражается в различных явлениях.

Как известно согласно гипотезе П.Риттингера работа A при дроблении материала пропорциональна площади вновь образованной поверхности ΔF :

$$A = K_1 \Delta F, \tag{1}$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности.

Величину ΔF можно выразить через начальные d_n и конечные d_k размеры раздробляемых частиц. Если предположить, что частицы имеют форму куба с размером ребер d_n до $d_k = d_n / i$ после дробления, то можно определить

$$\Delta F = F_k - F_n = 6i^3 (d_n/i)^2 - 6d_n^2 = 6d_n^2 (i-1) \tag{2}$$

Например, если начальный размер раздробляемых частиц составляет $d_n = 0,3$ м, а степень дробления i взять в диапазоне от 1 до 10, то подставляя значения в формулу (2), получим зависимость площади вновь образованной поверхности ΔF от степени дробления i в соответствии с рисунком 10. Из рисунка 10 следует, что рост степени дробления i повышает площадь вновь образованной поверхности ΔF , т.е. чем больше получаем раздробляемых частиц, тем больше получается площадь вновь образуемой поверхности, но тем больше затрачивается энергия на дробление.

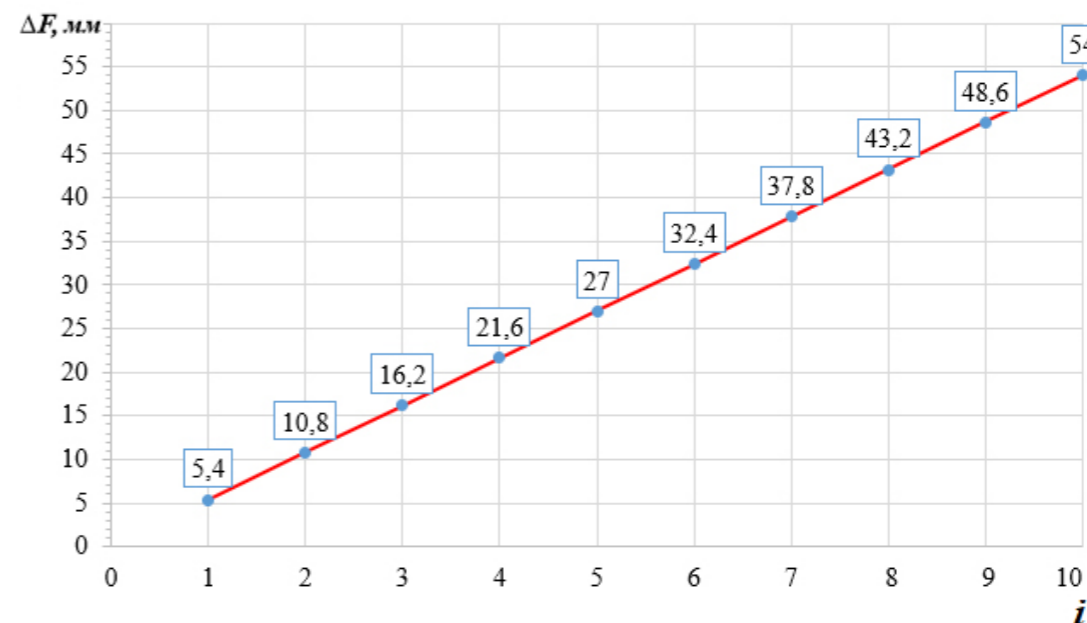


Рисунок 10 – Зависимость площади вновь образованной поверхности ΔF от степени дробления i при $d_n = 0,3$ м

Результативность процесса разрушения кормового сырья из отходов животного и растительного происхождения определяется основным принципом шредера, т.е. дроблением крупногабаритного сырья на маленькие кусочки. При этом важное значение отдается конструкции рабочих органов шредера. Поэтому следует применить системный подход к анализу разрушения твердого кормового сырья рабочими органами шредера.

Площадь поперечного сечения раздробляемого материала находится из выражения [7]

$$S = w \cdot t, \tag{3}$$

где w – ширина режущей кромки дискового ножа, мм;
 t – толщина раздробляемого материала, мм.

Усилие резки, необходимое для резки сырья определяется из выражения [7].

$$F_c = \tau \cdot S, \tag{4}$$

где τ - прочность на разрыв раздробляемого сырья, МПа

Важной особенностью конструктивных решений при разработке рабочих органов шредера, т.е. ножей, является определение основных факторов, воздействующих на процесс разрушения кормового сырья как животного так

и растительного происхождения. Для этого применяется метод системного анализа, в частности (\bar{V}) уровень иерархической структуры системного анализа, рассматривающий конструктивные особенности [9].

Рассмотрим первоочередной параметр разрушения твердого кормового сырья растительного и животного происхождения с применением шредера, т.е. обратим внимание на конструктивные отличия шредера (КОШ), выражающиеся \bar{V} уровнем иерархии системного анализа процесса разрушения твердого кормового сырья растительного и животного происхождения, структурная схема которой отображена на рисунке 11. Из конструктивных черт в первый момент обращается внимание на конструкцию станины (КС), которая может быть сварной (СК), литой (ЛК), с болтовыми соединениями (БС); вид загрузочного бункера (ВЗБ); диаметр ротора (ДР), количество роторов (КР). Важным следует отметить работу и мощность источника электроэнергии - мотора (РиММ), выбор редуктора (ВР); работу механической обработки, необходимой для разрушения, дробления кормового сырья (РМОдрД), при этом важное место имеет количество оборотов ротора, т.е. частота вращения ротора (ЧВР), винтовые крепления ножей к ротору (ВКНР); размеры рабочей зоны (РРЗ); количество дисковых ножей (КДН), толщина дисковых ножей (ТДН), диаметр дисковых ножей (ДДН), количество режущих кромок у дискового ножа (КРКДН), угол наклона режущей кромки дискового ножа (УНРКДН), материал дискового ножа (МДН), твердость дискового ножа (ТДН); зазоры между дисковыми ножами (ЗмДН), толщина промежуточных колец между дисковыми ножами (ТПКмДН); работу, необходимую для выноса раздробленных частиц из шредера (РВРЧШ), реверсивность вращения дисковых ножей (РВДН); производительность шредера (ПШ); материал и разновидность разрушаемых отходов (МиРРО), габариты отходов (ГО); мобильность (М) шредера.

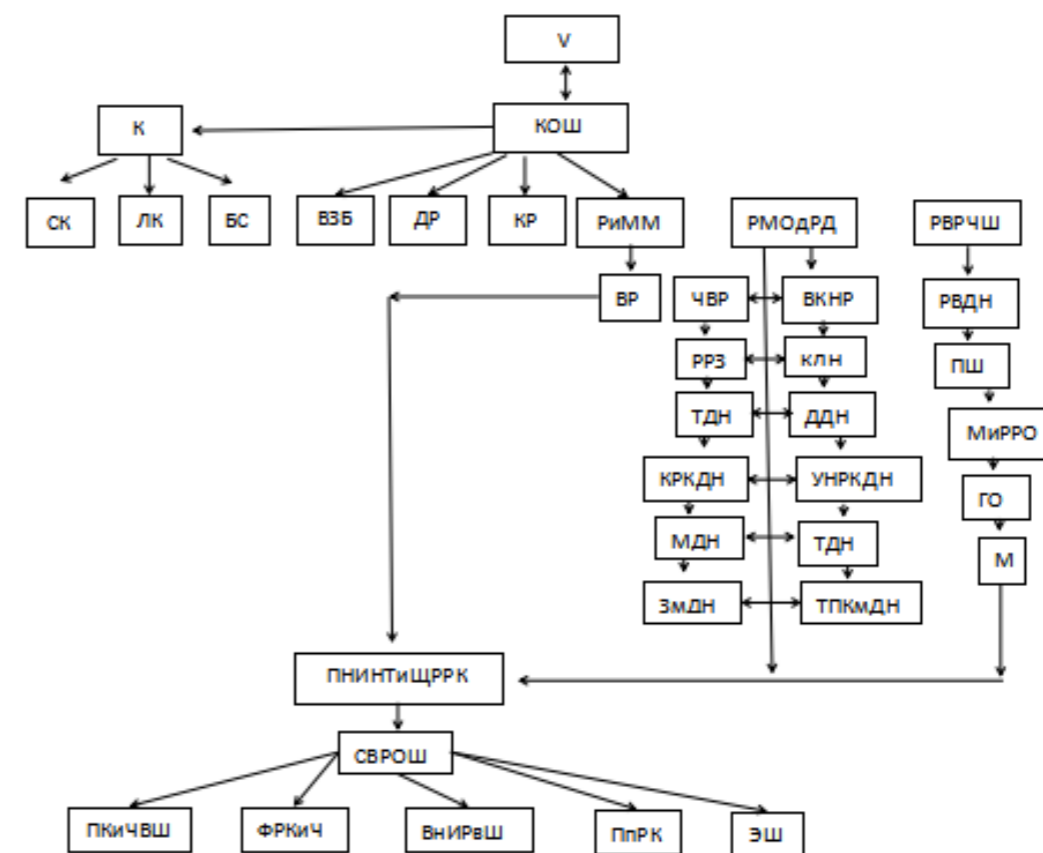


Рисунок 11 – Структурная схема \bar{V} уровня иерархии системного анализа процесса разрушения кормового сырья растительного и животного происхождения, акцентирующей конструктивные отличия шредера

Наблюдаемые явления приводят к захвату подаваемого на разрушение сырья, далее к течению втягивающего воздействия кусков подаваемого сырья в зазоры между дисковыми ножами в рабочей зоне, которая образует поля надразов, изгибов, надламывания, трещино- и щелеобразования, разрушения и разделения кусков (ПНИНТиЦРРК) в закрытом объеме рабочей зоны шредера, где наблюдается перемещение кусков и частиц раздробленного сырья в результате силового воздействия. Отсюда силовые воздействия рабочих органов шредера (СВРОШ) уместно влияют на перемещение кусков и частиц внутри шредера (ПКичВШ), влияют на качество разрушения, т.е. фракционное распределение кусков и частиц (ФРКиЧ), влияют на интенсивность разрушения сырья в шредере (ВниРвШ), влияют на производительность по разрушаемым кускам (ПпРК) и энергоёмкость шредера (ЭШ).

Главным параметром, выражающим \bar{V} уровень иерархии системного анализа разрушения твердого кормового сырья растительного и животного происхождения, акцентирующим внимание на конструкцию дисковых ножей шредера, являются конструктивные отличия дисковых ножей шредера (КОДНШ), структурная

схема которых отображена на рисунке 12. В этом случае наблюдается работа, воспроизводимая на вращательное движение дисковых ножей на двух роторах (ВДДНнДР), необходимая для захвата поступившего кормового сырья кромками дисковых ножей (ЗПКСКДН); работа, воспроизводимая для втягивания кормового сырья в межроторную плоскость острыми кромками группы дисковых ножей, расположенных на двух роторах (ВКСвМПОКДН) с разрезающе-разламывающим введением острых кромок дисковых ножей в разрушаемые куски раздразливаемого сырья. Наблюдаемые явления приводят к деформированию кормового сырья (НДКС), надрезам, изгибам, надламываниям, трещино- и щелеобразованию кормового сырья (НИНТиЩКС), после чего наступает разрушение и разделение - дробление на части кормового сырья (РРДКС), что объясняет целесообразность шредера (ЦШ), его эффективность для грубого измельчения (ЭГИ) со значительной степенью дробления (ЗСД).

Из осуществленного системного анализа процесса разрушения кормового сырья растительного и животного происхождения посредством дисковых ножей шредера следует то, что основными воздействующими факторами, приводящими к эффективности шредера и дисковых ножей шредера являются:

– уменьшение длительности образования надрезов, трещино- и щелеобразования в раздразливаемых кусочках кормового сырья из отходов растительного и животного происхождения, что увеличит производительность шредера;

– изменение конструкции дисковых ножей за счет изменения количества режущих кромок, уменьшения шага между режущими кромками, остроты и конфигурации режущих кромок, что повлияет на качество и интенсивность дробления, увеличение толщины дисковых ножей, что обеспечит ширину захвата раздразливаемого сырья и равномерность получаемой фракции.

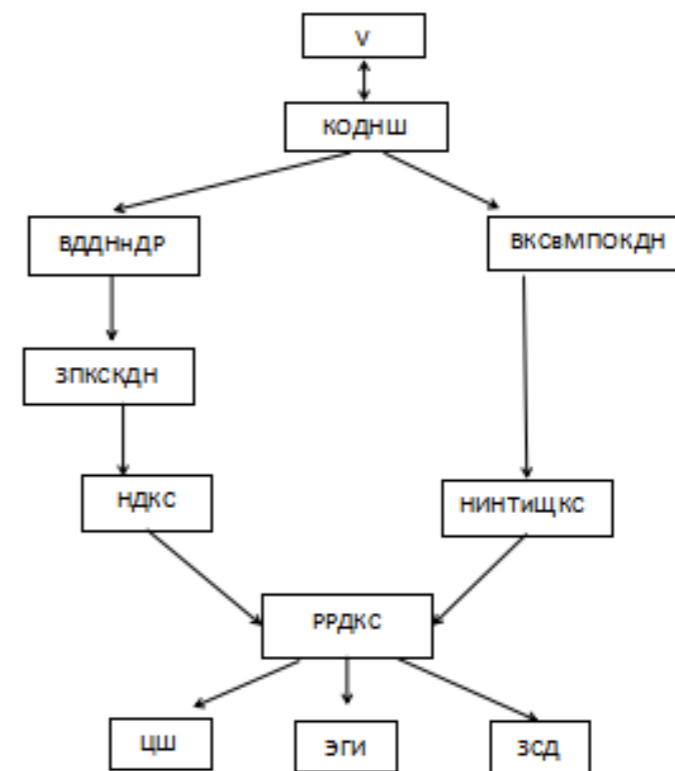


Рисунок 12 – Структурная схема \bar{I} уровня иерархии системного анализа процесса разрушения кормового сырья растительного и животного происхождения, акцентирующей конструктивные отличия дисковых ножей шредера

В результате проведения исследований нами разработана линия для производства кормов (рисунок 13), в которой производство кормов осуществляется с применением шредера или силового измельчителя для предварительного дробления.

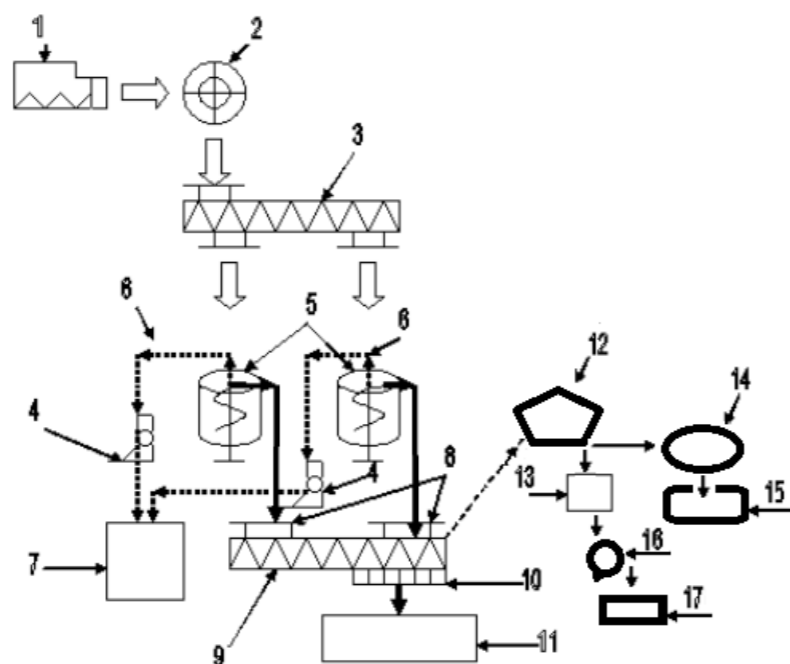


Рисунок 13 – Линия для производства кормов (решение выдаче патента на изобретение по заявке № 2023/0026.1)

1 – шредер или силовой измельчитель, 2 – магнитный металлоуловитель, 3 – шнековый транспортер, 4 – импульсные насосы, 5 – варочные котлы, 6 – трубопровод, 7 – емкость для сбора жира, 8 – бункеры, 9 – дренажное устройство, 10 – решетка, 11 – бак для сбора бульона, 12 – устройство для сушки и измельчения со смесительным узлом, 13 – бункер для сбора кормовой смеси, 14 – гранулятор, 15 – бункер для сбора гранулированных кормов, 16 – молотковая дробилка, 17 – бункер для сбора кормовой муки

Кормовое сырье (мясокостные отходы и т.п.) подают в шредер или силовой измельчитель 1, где по секциям происходит предварительное дробление кормового сырья рабочими элементами, далее через магнитный металлоуловитель 2 по шнековому транспортеру 3 кормовое сырье поступает в варочные котлы 5, где оно разваривается и обезжиривается, импульсными насосами 4 из варочных котлов 5 отсасывается жир посредством трубопровода 6 в емкость 7 для сбора жира, далее обезжиренное влажное кормовое сырье из варочных котлов 5 поступает через бункеры 8 в дренажное устройство 9, где через решетку 10 происходит слив бульона в бак 11 для сбора бульона, далее сырье поступает в устройство 12 для сушки и измельчения со смесительным узлом, где происходит высушивание потоком горячего воздуха, измельчение и перемешивание частиц до получения однородно смешанной кормовой смеси, которая поступает в бункер 13 для сбора кормовой смеси. В случае необходимости кормовая смесь поступает в гранулятор 14, где происходит приготовление гранулированных кормов и их направление в

бункер 15 для сбора гранулированных кормов. В случае производства кормовой муки, кормовая смесь из устройства 12 для сушки с одновременным измельчением и смешиванием поступает в молотковую дробилку 16 для измельчения в кормовую муку, и далее в бункер 17 для сбора кормовой муки. Оригинальность разработки подтверждается положительным решением о выдаче патента на изобретение [10].

Таким образом включение шредера в состав поточных линий имеет первостепенное значение с учетом необходимости предварительного дробления твердого сырья, а конструкция дисковых ножей заметно влияет на интенсивность и качество дробления.

Информация о финансировании

Данная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP19679802, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

В результате изучения конструкций шредера и его рабочих органов выявлены тенденции их развития по направлению совершенствования конструктивных параметров дисковых ножей, геометрии и ориентации режущих кромок, количества кромок на дисковом ноже. Серия проведенных экспериментов показала то, что степень дробления при работе шредера зависит от габаритных размеров и массы разрабатываемого сырья, толщины дисковых ножей, расстояния (шага) между режущими кромками дискового ножа. Выявлено, что значительная часть раздробленных кусочков елочной ветки с диаметром 6 мм составляет размер 27-30 мм (72%). При этом повлияло то, что в ряду был задействован один дисковый нож с толщиной 8 мм и шагом между режущими кромками на дисковом ноже 30 мм. Незначительная часть крошимости связана с разделением частиц и их резания об острые кромки в результате силового воздействия. В случае дробления елочной ветки или костных остатков с шириной, равной толщине 2-3 дисковых ножей наблюдается неравномерное, но более мелкое дробление из-за уменьшения расстояния между кромками соседних дисковых ножей. Таким образом получен определенный цикл контактирования рабочих органов с поступающим на разрушение сырьем.

Построенные структурные схемы \bar{V} уровня иерархии системного анализа процесса разрушения кормового сырья растительного и животного происхождения, акцентирующих внимание на конструктивных отличиях шредера и его дисковых ножей, выявили ряд основных факторов, влияющих на разработку более совершенной конструкции шредера и его рабочих органов:

- уменьшение длительности образования надрезов, трещино- и щелеобразования в разрабатываемых кусочках кормового сырья из отходов растительного и животного происхождения, что увеличит производительность шредера;

- изменение конструкции дисковых ножей за счет изменения количества режущих кромок, уменьшения шага между режущими кромками, остроты и конфигурации режущих кромок, что повлияет на качество и интенсивность

дробления, увеличения толщины дисковых ножей, что обеспечит ширину захвата разрабатываемого сырья и равномерность получаемой фракции.

Значимость шредера, как оборудования, предназначенного для предварительного дробления твердого отходного сырья, обосновывается первой позицией в составе разработанной линии для производства кормов, что объясняет его важность и значимость функционирования. Оригинальность разработки подтверждается положительным решением о выдаче патента на изобретение по заявке № 2023/0026.1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Прусова, И. В., Романчук, В. М., Титюра, О. В.** Основы механики разрушения. Учебное электронное издание. – Минск : БНТУ, 2009. - 100 с.
- 2 **Wong, J.; Gan, M.; Chua, B.; Gakim, M.; Siambun, N.** Shredder Machine for Plastic Recycling: A Review Paper. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing: Bristol, 2022. – UK, p. 012007.
- 3 **Rathnam, A. V.; Babu, U. H.** Optimal Design and Analysis of Twin Shaft Shredder. Int. J. Res. Innov. 4, 2017. – 805–813.
- 4 **Смердов, В. В., Смердов, М. В.** Шредер. Патент РФ № 2492927, опубл. 20.09.2013.
- 5 **Куцеев, В. В., Титученко, А. А., Голицын, А. С. Шредер.** Патент РФ № 144351, опубл. 20.08.2014.
- 6 **Wong, J. H.; Karen, W. M. J.; Bahrin, S. A.; Chua, B. L.; Melvin, G. J. H.; Siambun, N. J.** Wear Mechanisms and Performance of PET Shredder Blade with Various Geometries and Orientations. 2022 – Machines. 10: 760. <https://doi.org/10.3390/machines10090760>.
- 7 **Nguyen, T. K.; Chau, M. Q.; Do, T. C.; Pham, A. D.** Characterization of geometrical parameters of plastic bottle shredder blade utilizing a two-step optimization method. Archive of Mechanical Engineering. 2021. – 68(3): P. 253–269. – DOI 10.24425/ame.2021.138392.
- 8 **Zhao, Q.** Двухвальный шредер. Патент CN109046661(A), опубл. 12.04.2019.
- 9 **Кафаров, В. В., Дорохов, И. Н., Арутюнов, С. Ю.** Системный анализ процессов химической технологии : измельчение и смешение: монография – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 440 с .
- 10 **Искаков, Р. М.** Линия для производства кормов. Решение о выдаче патента на изобретение от 01.03.2024 г. по заявке № 2023/0026.1.

REFERENCES

- 1 **Prusova, I. V., Romanchuk, V. M., Tityura, O. V.** Osnovy mekhaniki razrusheniya [Fundamentals of fracture mechanics]. Educational electronic publication. - Minsk: BNTU, 2009. – 100 p.

- 2 **Wong, J.; Gan, M.; Chua, B.; Gakim, M.; Siambun, N.** Shredder Machine for Plastic Recycling: A Review Paper. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing: Bristol, 2022. – UK, p. 012007.
- 3 **Rathnam, A. V., Babu, U. H.** Optimal Design and Analysis of Twin Shaft Shredder. Int. J. Res. Innov. – 4, 2017. –P. 805–813.
- 4 **Smerdov, V. V., Smerdov, M. V.** Šreder [Shredder]. Patent of the Russian Federation № 2492927, published 20.09.2013.
- 5 **Kutseev, V. V., Tituchenko, A. A., Golitsyn, A. S.** Šreder [Shredder]. Patent of the Russian Federation № 144351, published 20.08.2014.
- 6 **Wong, J. H.; Karen, W. M. J.; Bahrin, S. A., Chua, B. L., Melvin, G. J. H., Siambun, N. J.** Wear Mechanisms and Performance of PET Shredder Blade with Various Geometries and Orientations. Machines. – 2022. – 10: 760. <https://doi.org/10.3390/machines10090760>.
- 7 **Nguyen, T. K.; Chau, M. Q.; Do, T. C.; Pham, A. D.** Characterization of geometrical parameters of plastic bottle shredder blade utilizing a two-step optimization method. Archive of Mechanical Engineering. – 2021. – 68(3): 253-269. DOI 10.24425/ame.2021.138392.
- 8 **Zhao, Q.** Dvukhval'nyy shreder [Twin shaft shredder]. Patent CN109046661(A), published 12.04.2019.
- 9 **Kafarov, V. V., Dorokhov, I. N., Arutyunov, S. Yu.** Sistemnyy analiz protsessov khimicheskoy tekhnologii: izmel'cheniye i smesheniye [System analysis of chemical technology processes : grinding and mixing]: monograph. – 2nd ed., revised. and additional. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2024. – 440 p.
- 10 **Iskakov, R. M.** Liniya dlya proizvodstva kormov [Feed production line]. The decision to issue a patent for an invention dated 03/01/2024 under application No. 2023/0026.1.

Поступило в редакцию 17.03.2024.

Поступило с исправлениями 26.03.2024.

Принято в печать 15.04.2024.

*Р. М. Искаков¹, А. А. Гуляренко¹, Т. Әбілжанұлы^{1,2},
Е. Ю. Ремшев³, В. А. Хан¹

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²«Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

³«Д. Ф. Устинов атындағы Балтық мемлекеттік техникалық университеті»
ФМБЖОО, Ресей Федерациясы, Санкт-Петербург қ.

17.03.2024 ж. баспаға түсті.

26.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

15.04.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҰСАҚТАҒЫШ ДИСК ПЫШАҚТАРЫНЫҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН ЖҮЙЕЛІК ТАЛДАУ

Мақалада ұсақтағыш тарменоның жұмыс органдарының конструкциялары жарастырылады. Алынған эксперименттік нәтижелер шырша бұтақтары мен сүйек қалдықтарының ұсақталған бөліктерін қалдық Жем шикізатының өлшемдері мен массасынан, дискілі пышақтардың бұзылатын шикізатпен жанасу циклінен бөлуге тәуелділік алуға мүмкіндік берді. Диаметрі 6 мм болатын шырша бұтағының сынған бөліктерінің едәуір бөлігі 27-30 мм (72%) мөлшерінде екендігі анықталды. Бұл қатарға қалыңдығы 8 мм және диск пышағындағы кесу жиектері арасындағы қадамы 30 мм болатын бір диск пышағының қатысуына әсер етті. Рождестволық шырша бұтағы немесе ені 2-3 дискілі пышақтың қалыңдығына тең сүйек қалдықтары ұсақталған жағдайда, іргелес дискілі пышақтардың жиектері арасындағы қашықтықтың азаюына байланысты біркелкі емес, бірақ ұсақ ұсақтау байқалады. Өсімдік және жануар тектес жемиш шикізатын бұзу процесін жүйелі талдау иерархиясы деңгейінің құрылымдық сызбалары Шредер мен Шредер дискілі пышақтарының құрылымдық айырмашылықтарына назар аударады. Ұсақтағыштың тиімділігіне әкелетін негізгі факторлар кесінділердің пайда болу ұзақтығының төмендеуі, ұсақталған кесектердегі жарықтар мен саңылаулардың пайда болуы; жиектердің санын өзгерту, жиектер арасындағы қадамды азайту, жиектердің өткірлігі мен конфигурациясы, сондай-ақ дискілі пышақтардың қалыңдығының артуы арқылы дискілі пышақтардың дизайнын өзгерту, бұл ұсақталған шикізатты ұстау Шири және алынған шикізаттың біркелкілігін қамтамасыз етеді фракциялар.

Кілтті сөздер: шредер, жою, ұсақтау, бөлу, ауыстыру, дискілер, жарықтар, азық қалдықтары, ет және сүйек қалдықтары, тармақтар.

*R. M. Iskakov¹, A. A. Gulyarenko¹, T. Abilzhanuly^{1,2},
E. Yu. Remshev³, V. A. Khan¹

¹Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana.

²LLP «Research and Production Center of Agroengineering»,
Republic of Kazakhstan, Almaty

³FSBEI HE «Baltic State Technical University named after D. F. Ustinova»,
Russian Federation, St. Petersburg

Received 17.03.2024.

Received in revised form 26.03.2024.

Accepted for publication 15.04.2024.

SYSTEM ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION OF SCHRODER DISC KNIVES

The article discusses the designs of shredders and their working bodies. The experimental results obtained made it possible to obtain dependences on the distribution of crushed pieces of Christmas tree branches and bone residues on the dimensions and weight of waste feed materials, the cycle of contact of disc knives with raw materials coming to destruction. It was revealed that a significant part of the fragmented pieces of a Christmas tree branch with a diameter of 6 mm is 27–30 mm (72 %) in size. This was influenced by the fact that one disc knife with a thickness of 8 mm and a pitch between the cutting edges on the disc knife of 30 mm was used in the row. In the case of crushing a Christmas tree branch or bone remains with a width equal to the thickness of 2-3 disc knives, uneven but finer crushing is observed due to a decrease in the distance between the edges of neighboring disc knives. Structural diagrams of the hierarchy \bar{V} level of the system analysis of the process of destruction of feed raw materials of plant and animal origin are constructed, focusing on the design differences between the shredder and the shredder disc knives. It was revealed that the main factors leading to the efficiency of the shredder are a decrease in the duration of incision formation, crack and crevice formation in the crushed pieces; a change in the design of disc knives by changing the number of edges, reducing the pitch between the edges, sharpness and edge configuration, as well as an increase in the thickness of disc knives, which ensures the width of the crushed raw materials and the uniformity of the resulting fractions.

Keywords: shredder, destruction, crushing, separation, shift, disks, cracks, waste feed, meat and bone waste, branches.

**Т. Л. Луб¹, *А. Ж. Касенов¹, Ж. К. Мусина¹,
А. С. Янюшкин², Л. Р. Мусина¹**

¹Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Чувашский государственный университет, Российская Федерация, г. Чебоксары

*e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ РОТАЦИОННОГО БЕЗВЕРШИННОГО ПОВОРОТНОГО ТОКАРНОГО РЕЗЦА

На сегодняшний день большая часть деталей машин подвергается механической обработке со снятием стружки, 70–80% из которых приходится на токарную обработку. В связи с чем, актуальность совершенствования процесса и инструментов для токарной обработки стоит – одна из важных задач в современном машиностроении.

Токарная обработка ротационными резцами позволяет увеличивать период стойкости режущей пластины в несколько раз за счет равномерного распределения напряжения, температуры и износа в процессе резания.

В статье представлено компьютерное моделирование процесса точения поворотным ротационным резцом в программе COMSOL Multyphysics в модуле прочностного анализа «Solid Mechanics».

Моделирование заключается исследовании стационарного положения круглой режущей пластины из твердого сплава T15K6 в зависимости от радиуса и угла наклона режущей кромки при обработке заготовки из Сталь 45 с целью обоснования геометрических параметров резца. В ходе исследования установлено, что при увеличении угла наклона и диаметра твердосплавной пластинки уменьшается площадь контакта с обрабатываемой поверхностью и соответственно уменьшаются контактные напряжения, деформации, температура, износ.

Представлены наглядные изображения распределения напряжения в зоне резания, графики зависимостей максимального напряжения от угла поворота.

Ключевые слова: режущая кромка, круглая режущая кромка, компьютерное моделирование, процесс резания, COMSOL Multyphysics, точение.

Введение

Токарная обработка играет ключевую роль в современном машиностроении за счет возможности обработки различных материалов с широким диапазоном точностных и качественных характеристик, влияющих на эксплуатационные показатели.

Ротационное резание является более сложным процессом по сравнению с традиционной токарной обработкой, где, помимо вращения заготовки и перемещения резца, дополнительно появляется вращение режущей пластины.

В связи с появлением множества разнообразия программных продуктов по САЕ-моделированию, компьютерные виды исследований все больше привлекают внимание исследователей. Однако при изучении процесса резания, в отличие от большинства физических процессов, приходится вручную вписывать все условия.

Процесс ротационного резания, исследуемый многими авторами [1, 2-6], может потребовать больших ресурсов. Для уменьшения их потребления, было принято за основу стационарное исследование, которое показывает картину в определенный момент времени и может быть использовано для теоретических основ для изучения процесса резания поворотным ротационным резцом [7, 8].

На зону контакта значительное влияние оказывают технологический параметр – глубина резания [1], геометрические параметры – радиус режущей пластины и угол наклона [9] режущей кромки. В связи с чем исследование напряженного состояния режущей кромки исследовано с учетом этого.

Материалы и методы

В ходе исследования было задействовано компьютерное моделирование стационарного прочностного анализа в модуле Solid Mechanics методом конечных элементов (МКЭ) в программе COMSOL Multyphysics, а также эмпирические зависимости теории и режимов резания.

Результаты и обсуждения

В качестве объекта исследования были выбраны пластины режущие сменные многогранные твердосплавные (T15K6) круглой формы с задним углом по ГОСТ 19072-80. Диаметрами 15.875 мм; 19.050 мм; 25.4 мм.

Таблица 1 – Свойства используемых материалов [10]

	Модуль Юнга, МПа Е·10 ³ МПа	Коэффициент Пуансона	Плотность, ρ кг/м ³
Сплав T15K6	525	0.29	11 500

В качестве исходных данных для исследования была принята обрабатываемая заготовка – Сталь 45, диаметр 40 мм. Изменяющийся технологический параметр – глубина резания (0,5 мм; 1 мм; 2 мм), геометрический (помимо радиуса) – углы наклона режущей кромки (00, 50, 150, 250).

При моделировании использовались следующие силы резания по координатным осям при глубине 0,5 мм – 0,5 мм – P_z=200 Н, P_y=60 Н, P_x=20 Н; при глубине 1 мм – P_z=400 Н, P_y=120 Н, P_x=40 Н; при глубине 2 мм – P_z=800 Н, P_y=240 Н, P_x=80 Н. Исходя из рисунка 1, следует, что напряжение сконцентрировано в зоне резания и реагирует на изменения угла, значения параметров адекватные.

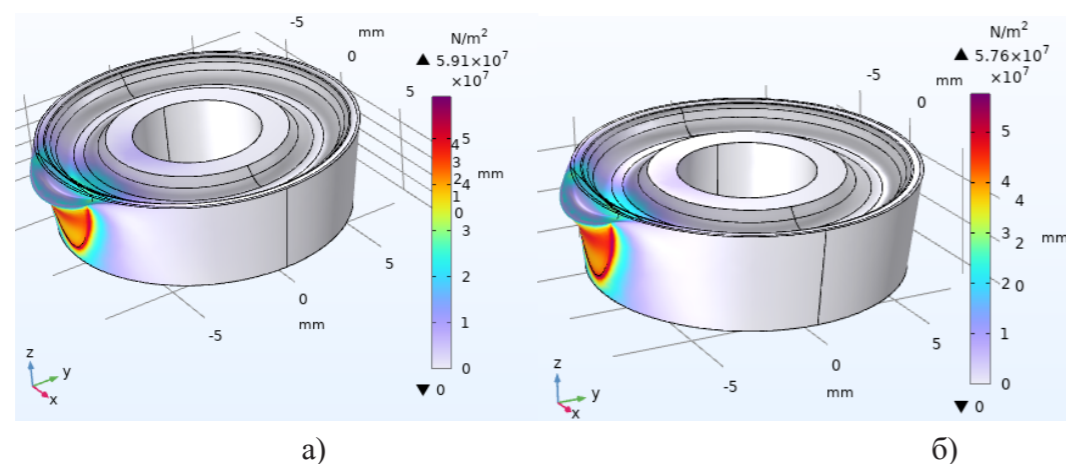


Рисунок 1 – Результат исследования пластины (d=15.875 мм) поворот режущей кромки 0°(а) и 5°(б) при глубине резания 0.5 мм

В ходе проведения всех опытов были построены графики на рисунках 2, 3, 4. Рассмотрим каждый график по отдельности:

Опыт 1 – Глубина резания 0.5 мм (рисунок 2)

На диаметре 15.875 мм напряжение колеблется от 5.6...5.9 (×10⁷ Н/мм²), значение напряжения при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла.

На диаметре 19.05 мм напряжение колеблется от 5.3...5.6 (×10⁷ Н/мм²), движение напряжения аналогично предыдущему.

На диаметре 20.4 мм колебание напряжение имеет более стабильный вид от 4.8...4.9 (×10⁷ Н/мм²).

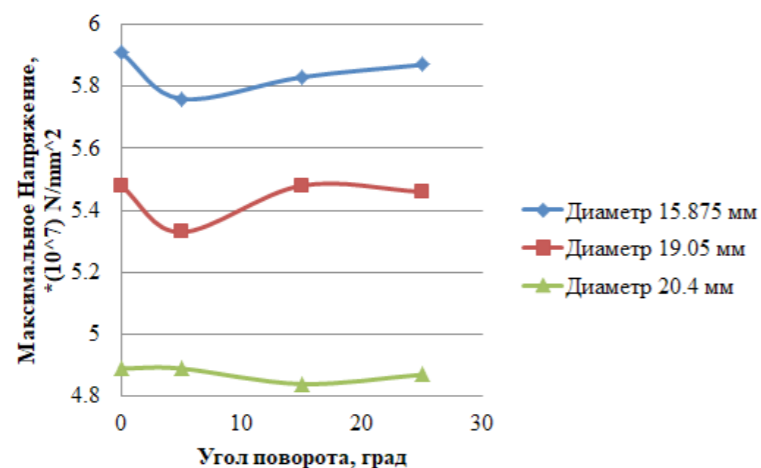


Рисунок 2 – Зависимость максимального напряжения от угла поворота при глубине резания 0.5 мм для пластин различных диаметров

Опыт 2 – Глубина резания 1 мм (рисунок 3):

На диаметре 15.875 мм напряжение колеблется от 6.6...7.2 (×10⁷ Н/мм²), значение напряжения при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла аналогично глубине резания 0.5 мм.

На диаметре 19.05 мм напряжение колеблется от 6.4...7.5 (×10⁷ Н/мм²), движение напряжения аналогично предыдущему.

На диаметре 20.4 мм колеблется значение напряжения (от 7.1...8.7 ×10⁷ Н/мм²), которое при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла до 15°, далее следует спад.

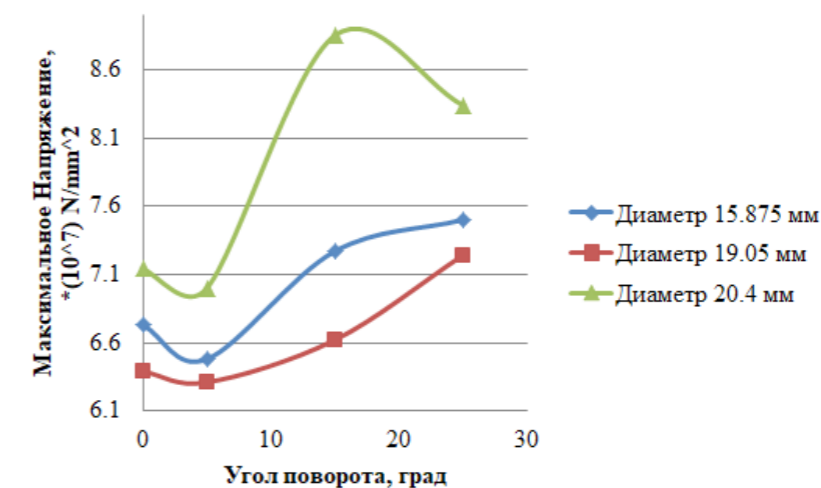


Рисунок 3 – Зависимость максимального напряжения от угла поворота при глубине резания 1 мм для пластин различных диаметров

Опыт 3 – Глубина резания 2 мм (рисунок 4):

На диаметре 15.875 мм напряжение колеблется от 6.4...7.5 (×10⁷ Н/мм²), которое при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла до 15°, далее следует спад.

На диаметре 19.05 мм наблюдается плавное увеличение напряжения от 6.4...7.9 (×10⁷ Н/мм²), движение напряжения аналогично предыдущему.

На диаметре 20.4 мм напряжение колеблется от 4.4...4.9 (×10⁷ Н/мм²), которое при добавлении угла начинает падать, однако наблюдается рост напряжения при увеличении угла.

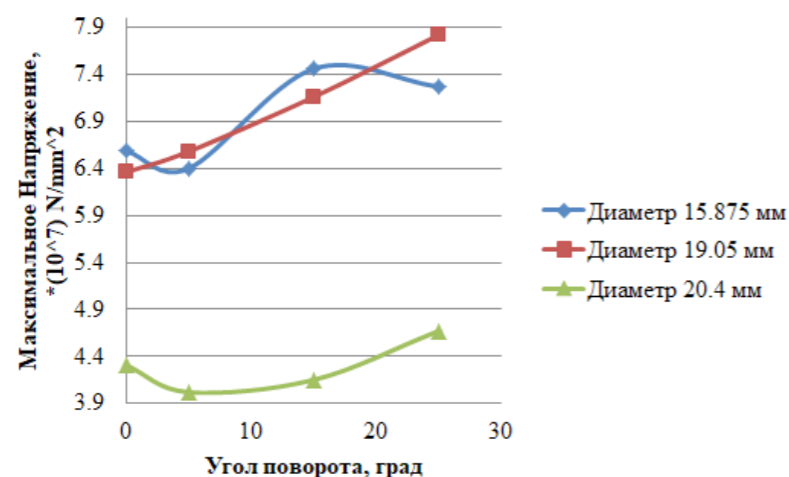


Рисунок 4 – Зависимость максимального напряжения от угла поворота при глубине резания 2 мм для пластин различных диаметров

Таким образом, для пластины диаметром 15.875 мм при всех глубинах резания возникает спад при добавлении угла наклона режущей кромке и рост по мере увеличения угла, однако на глубине резания 2 мм – при угле поворота 15° начинается повторный спад напряжения.

Для пластины диаметром 19.05 мм на глубинах 0.5 и 1 мм возникает спад при добавлении угла наклона режущей кромке и рост по мере увеличения угла, однако на глубине резания 2 мм добавление угла производит негативный эффект.

Для пластины диаметром 20.04 мм при всех глубинах резания возникает спад при добавлении угла наклона режущей кромке и рост по мере увеличения угла, однако на глубине резания 1 мм – при угле поворота 15° начинается повторный спад напряжения.

Информация о финансировании (при наличии)

Исследования выполнены в рамках грантового финансирования молодых ученых на 2023-2025 годы по проекту ИРН АР19678887 «Исследование триботехнических характеристик ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов», финансируемого Комитетом Науки МОН РК.

Выводы

Анализируя все выше сказанное, можно сделать вывод, что при увеличении угла наклона диаметра режущей кромки уменьшается площадь контакта с обрабатываемой поверхностью, что уменьшает контактные напряжения, температуру и износ. Таким образом увеличивается период стойкости режущей кромки, что на качестве [11] обрабатываемой поверхности.

Поскольку исследование проходит в статике, то в динамике с учётом вращения твёрдосплавной пластины напряжение будет равномерно распределяться по всей режущей кромки. Однако для полной картины следует провести дополнительно экспериментальные исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Влияние режима резания при ротационном точении многогранными резцами на температурно-силовые характеристики формообразования / А. С. Бинчуров, Ю. И. Гордеев, В. Б. Ясинский [и др.] // Вестник машиностроения. – 2022. – № 2. – С. 74-79. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-2-74-79. – EDN KARADU.

2 **Молочков, В. А.** Повышение эффективности процесса точения винтовыми ротационными резцами : специальность 05.03.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Молочков Василий Александрович. – Могилев, 1984. – 323 с.

3 **Hadzhiyski, P.** Knives for rotary dies with variable geometry / P. Hadzhiyski // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2011. – No. 4. – P. 131–135.

4 **Индаков, Н. С.** Исследование метода ротационного точения многогранными резцами / Н. С. Индаков, А. С. Бинчуров // СТИН. – 2013. – № 6. – С. 21–24.

5 **Индаков, Н. С.** Особенности ротационного точения многогранными резцами / Н. С. Индаков, А. С. Бинчуров // Вестник машиностроения. – 2013. – № 10. – С. 56–58.

6 Влияние режима резания при ротационном точении многогранными резцами на температурно-силовые характеристики формообразования / А. С. Бинчуров, Ю. И. Гордеев, В. Б. Ясинский [и др.] // Вестник машиностроения. – 2022. – № 2. – С. 74–79. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-2-74-79.

7 **Евтушенко, Т. Л.** Проблемы конструкций ротационных резцов при эксплуатации / Т. Л. Евтушенко, А. С. Янюшкин, А. Ж. Касенов // Инновационные технологии в машиностроении : Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции, Юрга, 26–28 мая 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 17–19.

8 Анализ конструкций ротационных резцов / Т. Л. Евтушенко, А. Ж. Касенов, Ж. К. Мусина [и др.] // СТИН. – 2022. – № 11. – С. 12–15.

9 **Бычковский, В. С., Филиппенко, Н. Г., Попов, С. И., Каргапольцев, С. К.** Исследование свойств и обрабатываемости сварных соединений комбинированным ротационным резцом со стружколомом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. №1 (57).

10 **Грубый, С. В.** Расчет параметров стружкообразования и сил резания пластичных материалов. // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2017; (1): С. 25-37. <https://doi.org/10.24108/aplts.0117.0000058>.

11 **Петровский, Э. А.** Обеспечение качества поверхностного слоя деталей подшипников скольжения на основе планетарного точения / Э. А. Петровский, К. А. Башмур // Вестник машиностроения. – 2023. – № 10. – С. 873–876. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-10-873-876.

Поступило в редакцию 14.06.2024.

Поступило с исправлениями 14.06.2024.

Принято в печать 15.06.2024.

1 Vliyanie rezhima rezaniya pri rotacionnom tochenii mnogogrannymi rezcami na temperaturno-silovye karakteristiki formoobrazovaniya [The influence of the cutting mode during rotary turning with multi-faceted cutters on the temperature and force characteristics of shaping] / A. S. Binchurov, Yu. I. Gordeev, V. B. Yasinsky [et al.] // Bulletin of Mechanical Engineering. - 2022. – No. 2. – pp. 74-79. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-2-74-79. – EDN KARADU.

2 **Molochkov, V. A.** Povyshenie effektivnosti processa tocheniya vintovymi rotacionnymi rezcami [Improving the efficiency of the turning process with screw rotary cutters] : specialty 05.03.01 : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Molochkov Vasily Alexandrovich. – Mogilev, 1984. – 323 p.

3 **Hadzhiyski, P.** Knives for rotary dies with variable geometry / P. Hadzhiyski // Problems of mechanical engineering and automation. - 2011. – No. 4. – P. 131–135.

4 **Indakov, N. S.** Issledovanie metoda rotacionnogo tocheniya mnogogrannymi rezcami [Investigation of the method of rotary turning with polyhedral incisors] / N. S. Indakov, A. S. Binchurov // STIN. – 2013. – No. 6. – P. 21–24.

5 **Indakov, N. S.** Osobennosti rotacionnogo tocheniya mnogogrannymi rezcami [Features of rotary turning with multi-faceted cutters] / N. S. Indakov, A. S. Binchurov // Bulletin of Mechanical Engineering. - 2013. – No. 10. – P. 56–58.

6 Vliyanie rezhima rezaniya pri rotacionnom tochenii mnogogrannymi rezcami na temperaturno-silovye karakteristiki formoobrazovaniya [The influence of the cutting mode during rotary turning with multi-faceted cutters on the temperature and force characteristics of shaping] / A. S. Binchurov, Yu. I. Gordeev, V. B. Yasinsky [et al.] // Bulletin of Mechanical Engineering. - 2022. – No. 2. – pp. 74-79. – DOI 10.36652/0042-4633-2022-2-74-79.

7 **Yevtushenko, T. L.** Problemy konstrukcij rotacionnyh rezcov pri ekspluatatsii [Problems of rotary cutter designs during operation] / T. L. Yevtushenko, A. S. Yanushkin, A. J. Kasenov // Innovative technologies in mechanical engineering : Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference, Jurga, May 26-28, 2022. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2022. – P. 17–19.

8 Analiz konstrukcij rotacionnyh rezcov [Analysis of designs of rotary cutters] / T. L. Yevtushenko, A. J. Kasenov, J. K. Musina [et al.] // STIN. – 2022. – No. 11. – P. 12-15.

9 **Bychkovsky, V. S., Filippenko, N. G., Popov, S. I., Kargapoltsev, S. K.** Issledovanie svoystv i obrabatyvaemosti svarnyh soedinenij kombinirovannym rotacionnym rezcom so struzhkolomom [Investigation of properties and machinability of welded joints with a combined rotary cutter with a chip breaker] // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2018. No.1 (57).

10 **Grubiy, S. V.** Raschet parametrov struzhkoobrazovaniya i sil rezaniya plastichnyh materialov [Calculation of chip formation parameters and cutting forces of plastic materials] // Machines and installations: design, development and operation. 2017; (1): P. 25–37. <https://doi.org/10.24108/aplts.0117.0000058>.

11 **Petrovsky, E. A.** Obespechenie kachestva poverhnostnogo sloya detalej podshipnikov skolzheniya na osnove planetarnogo tocheniya [Ensuring the quality of the surface layer of sliding bearing parts based on planetary turning] / E. A. Petrovsky, K. A. Bashmur // Bulletin of Mechanical Engineering. - 2023. – No. 10. – P. 873–876. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-10-10-873-876.

**Т. Л. Луб¹, *А. Ж. Касенов¹, Ж. К. Мусина¹,
А. С. Янушкин², Л. Р. Мусина¹**

¹Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Чуваш мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, Чебоксары қ.

14.06.2024 ж. баспаға түсті.

14.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.

15.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

РОТАЦИЯЛЫҚ ТӨБЕСІЗ БҰРЫЛМАЛЫ ЖОНУ КЕСКІШ ПЛАСТИНАНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН НЕГІЗДЕУ

Бүгінгі таңда машина бөлшектерінің көп бөлігі жоңқаларды алып тастаумен өңделеді, оның 70–80 %-ы токарлық өңдеуге жатады. Осыған байланысты токарлық өңдеуге арналған процесс пен құралдарды жетілдірудің өзектілігі тұр – қазіргі заманғы машина жасаудағы маңызды міндеттердің бірі.

Айналмалы кескіштермен токарлық өңдеу кесу процесінде кернеуді, температураны және тозуды біркелкі бөлу арқылы кескіш пластинаның төзімділік кезеңін бірнеше есе арттыруға мүмкіндік береді.

Мақалада «Solid Mechanics» беріктігін талдау модуліндегі COMSOL Multiphysics бағдарламасында айналмалы айналмалы кескішпен тоқарлы процесін компьютерлік модельдеу ұсынылған.

Модельдеу кескіштің геометриялық параметрлерін негіздеу мақсатында 45 болаттан жасалған дайындаманы өңдеу кезінде кесу жиегінің радиусы мен көлбеу бұрышына байланысты дөңгелек қатты қорытпалы (Т15К6) кескіш пластинаның стационарлық орналасуын зерттеуден тұрады. Зерттеу барысында карбидті пластинаның көлбеу бұрышы мен диаметрі ұлғайған кезде өңделетін бетпен жанасу аймағы азаятыны және тиісінше жанасу кернеулері, деформациялар, температура, тозу азаятыны анықталды.

Кесу аймағындағы кернеудің таралуының көрнекі суреттері, максималды кернеудің айналу бұрышына тәуелділігінің графиктері ұсынылған.

Кілтті сөздер: кесу жиегі, дөңгелек кесу жиегі, компьютерлік модельдеу, кесу процесі, COMSOL Multiphysics, тоқарлық өңдеу.

*T. L. Lub¹, * A. Zh. Kasenov¹, Zh. K. Musina¹,
A. S. Yanyushkin², L. R. Musina¹*

¹Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation

Received 14.06.2024.

Received in revised form 14.06.2024.

Accepted for publication 15.06.2024.

JUSTIFICATION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE CUTTING PLATE OF THE ROTARY PEAKLESS TURNING CUTTER

Today, most of the machine parts are machined with chip removal, 70–80 % of which are turning. In this regard, the relevance of improving the process and tools for turning is one of the important tasks in modern mechanical engineering.

Turning with rotary cutters allows you to increase the durability period of the cutting plate several times due to the uniform distribution of voltage, temperature and wear during the cutting process.

The article presents a computer simulation of the turning process with a rotary cutter in the COMSOL Multiphysics program in the Solid Mechanics strength analysis module.

The simulation consists in studying the stationary position of a round cutting plate made of T15K6 hard alloy, depending on the radius and angle of inclination of the cutting edge when processing a workpiece made of 45 Steel in order to substantiate the geometric parameters of the cutter. During the study, it was found that with an increase in the angle of inclination and diameter of the carbide plate, the contact area with the treated surface decreases and, accordingly, contact stresses, deformations, temperature, and wear decrease.

Visual images of the voltage distribution in the cutting area, graphs of the dependence of the maximum voltage on the angle of rotation are presented.

Keywords: cutting edge, round cutting edge, computer modeling, cutting process, COMSOL Multiphysics, turning.

МРНТИ 55.03.35

***К. Т. Шеров¹, *С. О. Тусупова², Н. Ю. Кузьминова³, Л. Н. Махмудов⁴,
С. С. Айнабекова⁵***

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана;

²Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

^{3,5}Карагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау;

⁴Навоийский государственный горно-технологический университет,

Республика Узбекистан, г. Навои;

e-mail: suleeva.s@inbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН В ПРОЦЕССЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выполненные исследования показали, что существует проблема механической обработки труднообрабатываемых материалов, в частности титановых сплавов в условиях отечественных машиностроительных производств. Наиболее существенной проблемой является низкая производительность и высокая интенсивность изнашивания режущего инструмента при обработке титановых сплавов. Были проведены экспериментальные исследования по обработке титановых сплавов способом высокоскоростного фрезерования. Было установлено, что при высокоскоростном фрезеровании на частотах вращения шпинделя превышающей $n_{\text{шп}} \geq 6000-7000$ об/мин наблюдается износ режущей части инструментов.

В данной статье приводятся результаты исследования процесса износа инструмента при обработке титанового сплава BT1-0 с помощью специальной компьютерной программы DEFORM-3D. Для моделирования были введены следующие режимы обработки $n=12000$ об/мин, $t=1$ мм, $S=4500$ мм/мин.

В результате установлено, что интенсивность износа зависит, главным образом, от величины частоты вращения торцевой фрезы и подачи. А также по результатам данного моделирования можно выполнить экстраполяцию времени, в течение которого при данном режиме фрезерования твердосплавная режущая пластинка достигнет критической величины износа.

Исследование выполнено в рамках грантового проекта №AP19174917 «Исследование и повышение качества высокоскоростного фрезерования труднообрабатываемых материалов путем моделирования процесса и оптимизации режимов резания».

Ключевые слова. Труднообрабатываемый материал, титан, высокоскоростное фрезерование, износ инструмента, твердосплавная пластинка, скорость резания, подача.

Введение

Обработка труднообрабатываемых материалов резанием является для многих отечественных машиностроительных производств проблемой, которая сопровождается материальными затратами и низкой производительностью. Проблема может заключаться также в большом расходе режущего инструмента, так как эти материалы имеют высокие показатели твердости, прочности, вязкости, коррозионной стойкости, жаропрочности при низкой теплопроводности, которые затрудняет обработку резанием [1]. Одним из таких материалов широко применяемая в условиях отечественного производства является титановые сплавы. Исследование вопроса механической обработки титановых сплавов в условиях отечественных машиностроительных производств показали, что наиболее существенной проблемой является низкая производительность и высокая интенсивность изнашивания режущего инструмента. Также известно, что титановые сплавы обладают очень существенным недостатком – плохой обрабатываемостью резанием, которая объясняется следующими особенностями характеристики материала:

- низкая теплопроводность из-за чего в процессе резания основная часть тепла передается на режущий инструмент;
- высокая склонность к налипанию и задиранию;
- появление рывков при фрезеровании, которые приводят к повреждению обрабатываемой поверхности;
- низкая виброустойчивость при обработке ввиду неустойчивости процесса пластической деформации.

Для решения данной проблемы было предложено обработка труднообрабатываемых материалов способом высокоскоростного фрезерования. Проведенные экспериментальные исследования показали, что при высокоскоростном фрезеровании на частотах вращения шпинделя превышающей $n_{шп} \geq 6000-7000$ об/мин наблюдается износ режущей части инструментов.

Износ инструментов можно объяснить резким повышением температуры в зоне резания. Известно [2,3,4,5], что высокая температура в зоне обработки не позволяет интенсифицировать режим обработки и является причиной смены типа выхода из строя режущего инструмента с истирания на образование сколов и выкрашивания, что значительно снижает стойкость режущего инструмента. А также одной из причин быстрого изнашивания и выкрашивания инструмента из твердого сплава при прерывистом резании заготовок из жаропрочных высоколегированных материалов является налипание частиц материала заготовки на режущие лезвия инструмента при выходе его из металла. Кроме этого, высокая температура в зоне резания труднообрабатываемых материалов может быть связана с рядом факторов, основными из которых являются высокий коэффициент трения пары «инструментальный – обрабатываемый материал», их низкая теплопроводность, высокая удельная сила резания, трудности подвода смазочно-охлаждающих технологических средств непосредственно в зону обработки, «отрицательный» коэффициент укорочения стружки. Такое состояние вопроса требует проведения

дополнительных исследований по определению влияния вышеуказанных факторов при высокоскоростном фрезеровании.

Низкое качество поверхности, нежелательные геометрические и размерные допуски, также обработка труднообрабатываемых материалов, повреждение изделия из-за износа и поломки инструмента приводят к резкому удорожанию производства. В связи с этим мониторинг состояния инструмента и процесса обработки различных материалов имеет решающее значение для предотвращения нежелательных явлений во время процесса и обеспечения экономичного и качественного производства.

В последние годы проводятся обширные исследовательские работы по мониторингу состояния режущего инструмента в процессе эксплуатации с целью оптимизации срока службы инструмента [6], раннего выявления износа инструмента и предотвращения его поломки [7,8], прогнозирование критических условий обработки, связанных с шероховатостью поверхности [9]. Поломка режущего инструмента или его сильный износ, вибрации, вызванным биением фрезы [10] приводят к снижению качества продукции или даже к появлению брака, повреждению компонентов станка или непредвиденному простоею производства [11].

При обработке деталей из титановых сплавов, помимо точности, еще одним важным фактором при оценке их качества является целостность обрабатываемой поверхности, на которую могут оказывать существенное влияние остаточные напряжения [12].

Моделирование механической обработки материалов с использованием конечно-элементных моделей является мощным инструментом для оптимизации моделируемых процессов и инструментов, а также для определения характеристик процесса резания, учета износа инструмента, чтобы избежать повреждения или снижения качества заготовок, которые трудно или практически невозможно определить экспериментальным путем [13].

Моделирование процесса механической обработки позволяет глубже понять процесс резания. Оно позволяет лучше оценивать распределение напряжений, температуры, чем большинство измерительных технологий. Кроме того, моделирование механической обработки сокращает количество экспериментальных испытаний и операций на станке, время, а также материалы и очень высокие затраты на создание прототипов. Такие методы, как метод конечных элементов (МКЭ), являются хорошо известными альтернативами для оценки влияния технологических параметров на операции механической обработки [14].

В связи с вышесказанными исследование процесса износа режущей части инструмента при высокоскоростном фрезеровании является актуальной задачей.

Материалы и методы

С целью изучения процесса изнашивания режущей части инструмента было выполнено численное моделирование обработки титана в условиях торцевого фрезерования. Была предпринята попытка смоделировать процесс торцевого

фрезерования для различных условий обработки и определить износ инструмента с помощью программного комплекса DEFORM-3D.

DEFORM-3D - это обширное моделирование процессов для анализа сложных процессов обработки металлов давлением в трехмерном (3D) потоке. DEFORM-3D - это полезный и эффективный метод экономичного прогнозирования расхода материалов при формообразовании в промышленности и временных задержек, связанных с испытаниями в цехах [15,16]. Широко распространеныковка в открытом и закрытом режимах, экструзия, прокатка, зубчатка, волочение, механическая обработка, уплотнение, экструзия и осадка.

Заготовка, рассматриваемая для моделирования условий обработки с плоской деформацией, изготовлена из титана марки BT-1-0 с твердостью по Бринеллю 160 НВ. Из титана изготавливают медицинское оборудование, имплантаты, химическое оборудование, детали используемые, в авиации и судостроении, самолеты (лопатки, трубопроводы), лопасти паровой турбины, каркас самолета, сварные детали, устойчивые к коррозии, лопатки турбин и компрессоров, диски, крепежные детали, детали ракет, планеры, крепежные детали. Это материал, который используется во многих областях промышленности [17].

Инструмент торцевая фреза, рассматриваемая в данной работе, изготовлена из карбида вольфрама (WC) с покрытием PVD. Торцевые фрезы обрабатывают плоскую поверхность заготовки, при этом режущие кромки расположены как на торце, так и на периферии корпуса вставки фрезы (см.рис.1). Технические характеристики торцевого фрезерного инструмента, рассматриваемого в данной работе, следующие: количество твердосплавной режущей пластинки из карбида вольфрама - 8, диаметр фрезы - 80 мм.

На рисунке 1 показаны фреза и заготовка, смоделированная с помощью DEFORM-3D и нанесенной сеткой.



Рисунок 1 – Фреза и заготовка, смоделированные с помощью DEFORM-3D

Первоначально моделируется фреза, затем заготовка (рисунок 2).

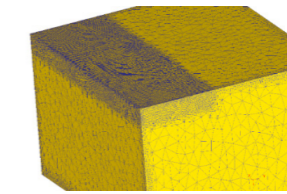


Рисунок 2 – Заготовка смоделированная с помощью DEFORM-3D.

Для расчета теплопередачи и деформирования была применена конечно-элементная тетраэдрическая сетка с автоматической перестройкой при искажении $\geq 20\%$. Область между обрабатываемой деталью и наконечником инструмента, где происходит контакт, имеет более мелкую сетку.

Начальная температура заготовки, инструмента и окружающей среды составляет 20°C . Коэффициент теплоотдачи между деталью и воздухом – $20 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{C})$. В граничных условиях модели заготовка жестко закреплена, фреза перемещается только вдоль оси резания с частотой вращения шпинделя $12000 \text{ об}/\text{мин}$, глубина резания 1 мм , подача $4500 \text{ мм}/\text{мин}$. При моделировании заготовки использовали титан BT1-0 с химическим составом, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав материала BT1-0 по ГОСТ 19807-91

Fe	C	Si	N	Ti	O	H	Примесей
До 0,25	До 0,07	До 0,1	До 0,04	99,24-99,7	До 0,2	До 0,01	Прочих 0,3

При моделировании был использован критерий разрушения Кокрофта-Лэтама [18], который представляет собой общее повреждение, рассчитанное с учетом эквивалентной деформации и максимального главного напряжения, как показано в уравнении. Для представления величины пластических повреждений требуется только одна постоянная материала. В результате, постоянная материала может быть определена только экспериментальным путем [19,20].

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \sigma_{max} d\bar{\epsilon} = C_1.$$

где σ_{max} – максимальное основное напряжение,

$\bar{\epsilon}$ – эквивалентная деформация,

ϵ_f – эквивалентная деформация, при которой происходит разрушение,

C_1 – постоянная материала при пластическом повреждении.

Скорость износа на контактной поверхности определяется относительной скоростью, постоянным давлением и абсолютной температурой в модели износа инструмента Усуи, как указано в следующем уравнении:

$$\frac{d\omega}{dt} = A\sigma_u V_s e^{\left\{\frac{-B}{T}\right\}}.$$

Константы для моделирования скорости износа равны $A = 0,0000000078$ и $B = 5302$ [18].

Дерево расчета модели фрезерования торцевой фрезой со вставками показано на рисунке 3.

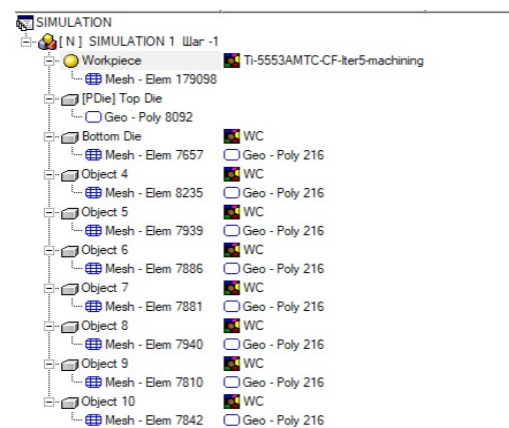
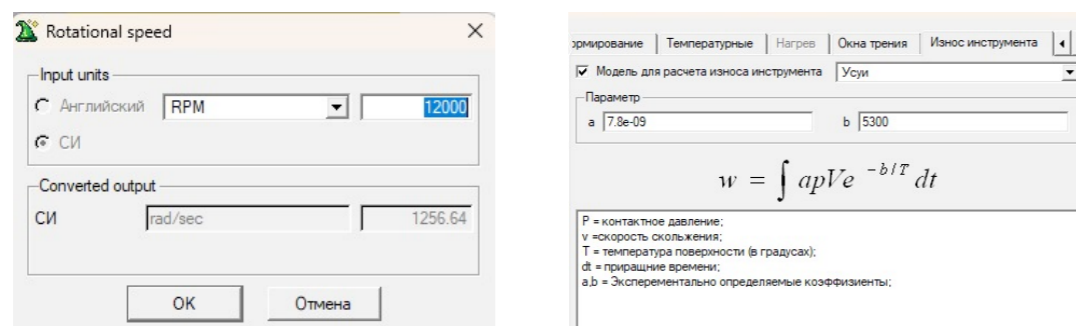


Рисунок 3 – Дерево расчета модели фрезерования торцевой фрезой

Условия расчета модели представлены на рисунке 4.



а) – ввод режимов резания; б) – ввод коэффициента Усуи;

Рисунок 4 – Условия процесса модели

Трехмерная модель контакта твердосплавной режущей пластинки фрезы с заготовкой показана на рисунке 5.

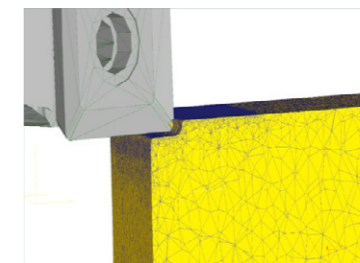
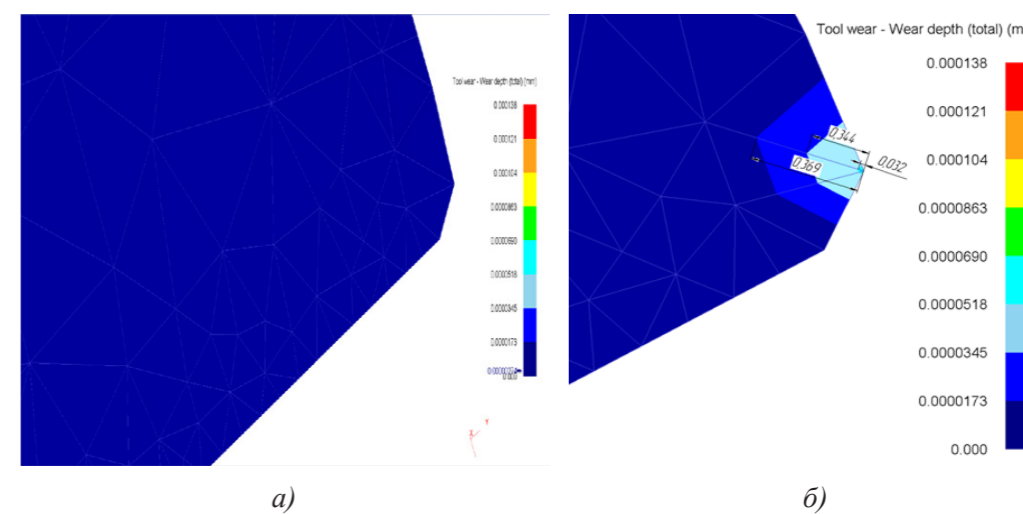


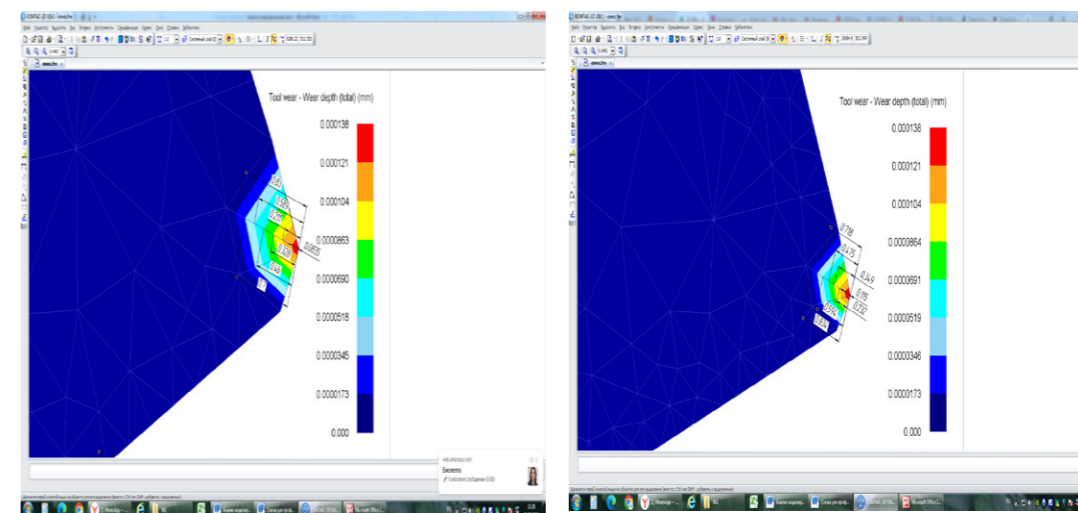
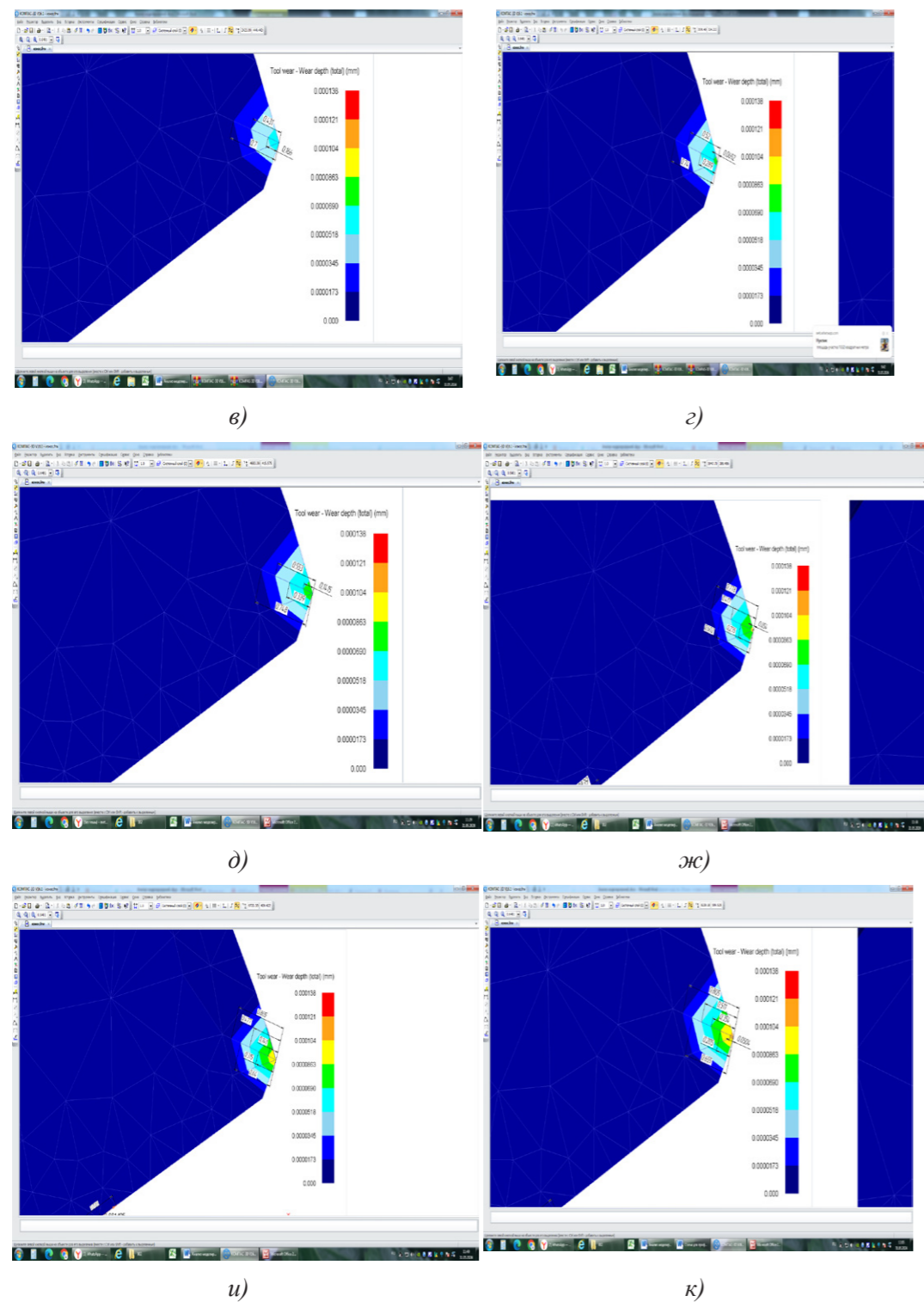
Рисунок 5 – Трехмерная модель контакта твердосплавной режущей пластинки фрезы с заготовкой

Рассмотрим моделирование процесса фрезерования титана торцевой фрезой по износу твердосплавных режущих пластинок фрезы.

Результаты и обсуждение

Истирание рабочих поверхностей инструмента является результатом сложного процесса, который включает физические и химические реакции, приводящие к разрушению верхних слоев. Этот процесс состоит из нескольких видов износа: абразивного, при котором материал удаляется за счет трения; адгезионного, когда материалы сцепляются и отделяются; диффузионного, связанного с перемещением атомов; окислительного, вызванного реакцией с кислородом; и деформационного, когда материал изменяет свою форму. Взаимодействие этих процессов определяет общий уровень износа инструмента. Анализ моделирования численного анализа процесса износа на контакте рабочей твердосплавной режущей пластинки фрезы с заготовкой при обработке, позволяет прогнозировать степень износа рабочего инструмента в процессе обработки (рисунок 6).





а – 1 оборот фрезы; б – 2 оборот фрезы; в – 3 оборот фрезы; г – 4 оборот фрезы; д – 5 оборот фрезы; ж – 6 оборот фрезы; и – 7 оборот фрезы; к – 8 оборот фрезы; л – 9 оборот фрезы; м – 10 оборот фрезы
Рисунок 6 – Износ, возникающий в твердосплавной режущей пластинке инструмента

При фрезеровании торцевой фрезой на первом обороте в точке контакта твердосплавной режущей пластинки с заготовкой износ составляет 0,00274 мкм (см. рис. 6,а). При дальнейшей обработке значение износа увеличивается до 0,0518 мкм (см. рис. 6,б). На первых оборотах фрезы видно, что развитие износа на торцевой поверхности твердосплавной режущей пластинки фрезы идет более интенсивно, чем нижней части. Дальнейшая обработка (см. рис. 6,в) показывает увеличение распространения значения износа 0,0518 мкм вглубь на 0,166 мм. Следующий оборот показывает увеличение значения износа до 0,069 мкм на глубину 0,0652 мм, при этом общая глубина износа увеличивается не значительно (см. рис. 6,г,д,ж), что продолжается при дальнейшей обработке. Но количественное значение износа кромки твердосплавной режущей пластинки фрезы накапливается и составляет 0,0863 мкм при глубине распространения до 0,141 мм вглубь кромки твердосплавной режущей пластинки (см. рис. 6,ж,и). На восьмом обороте инструмента величина износа на кромке твердосплавной режущей пластинки фрезы составила 0,1 мкм и увеличилось до 0,138 мкм на десятом обороте вглубь на 0,115 мм (см. рис. 6,к,л,м).

За время 0,05 сек фрезерования титановой заготовки максимальный износ твердосплавной пластинки на режущей кромке находится в пределах от 0,121 до 0,138 мкм. Таким образом, можно предположить, что критический износ в 0,1 мм возможно будет достигнут при времени обработки около половины минуты.

Проведенные исследования характера износа твердосплавной режущей пластинки фрезы при высокоскоростном фрезеровании титана представляет

значительный интерес для решения основного вопроса определения стойкости и работоспособности режущего и инструмента. Данное моделирование позволяет прогнозировать износ твердосплавной режущей пластинки торцевой фрезы при различных режимах резания.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования по обработке труднообрабатываемых материалов, в частности титановых сплавов показали, что при высокоскоростном фрезеровании на частотах вращения шпинделя превышающей $n_{\text{шп}} \geq 6000-7000$ об/мин наблюдается износ режущей части инструментов. С целью исследования процесса износа режущей части инструмента при высокоскоростном фрезеровании было выполнено моделирование с помощью специальной компьютерной программы DEFORM-3D. Для моделирования были введены следующие режимы обработки $n=12000$ об/мин, $t=1$ мм, $S=4500$ мм/мин.

В результате установлено, что интенсивность износа зависит, главным образом, от величины частоты вращения торцевой фрезы и подачи. А также по результатам данного моделирования можно выполнить экстраполяцию времени, в течение которого при данном режиме фрезерования твердосплавная режущая пластинка достигнет критической величины износа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Маслов А. Р., Схиртладзе А. Г.** Обработка труднообрабатываемых материалов резанием: учебное пособие. – М. : Инновационное машиностроение, 2017. – 208 с.
- 2 **Бреев С. В., Серебренникова А. Г.** Высокоскоростное фрезерование труднообрабатываемых материалов: 2. Особенности обрабатываемости при фрезеровании / Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – № IV-1(16), 2013. – С. 59–65.
- 3 **Гуревич Я. Л., Горохов М. В., Захаров В. И.** Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. 2-ое изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986, 240 с.
- 4 **Tchigirinsky J. L., Trung P. H., Lipatov A. A.** Features of Processing of Corrosion Resistant Steels / Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 870. – P. 598–602. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.598.
- 5 **Бреев С. В., Серебренникова А. Г., Козлова М. А.** Температурно-мощностной критерий как способ определения зоны высокоскоростной обработки труднообрабатываемых материалов // Современные материалы, техника и технология: 4-я междунар. практ. конф. (г. Курск, 25-26 дек. 2014 г.). – Курск, 2014. – С. 96–102.
- 6 **Teti R., Jemielniak K., O'Donnell G., Dornfeld D.** Advanced monitoring of machining operations. CIRP Ann. 2010, 59, P. 717–739. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.05.010>.

- 7 **Mohanraj, T., Shankar, S., Rajasekar, R., Sakthivel, N. R., Pramanik, A.** Tool condition monitoring techniques in milling process. A review. J. Mater. Res. Technol. – 2020, 9, P. 1032–1042. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.031>.
- 8 **He, Q., Saciotto, V., DePaiva, J.M., Guimaraes, M.C., Kohlscheen, J. Martins, M.M., Veldhuis, S. C.** Enhancing Tool Performance in High-Speed End Milling of Ti-6Al-4V Alloy: The Role of AlCrN PVD Coatings and Resistance to Chipping Wear. J. Manuf. Mater. Process. – 2024. – 8. – 68. <https://doi.org/10.3390/jmmp8020068>.
- 9 **Hojati, F., Azarhoushang, B., Daneshi, A., Hajyaghace Khiabani, R.** Prediction of Machining Condition Using Time Series Imaging and Deep Learning in Slot Milling of Titanium Alloy. J. Manuf. Mater. Process. – 2022. – 6. – 145. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060145>.
- 10 **Constantine David, Dimitrios Sagris, IEvlampia Stergianni, Christos Tsiafis, Ioannis Tsiafis.** Experimental Analysis of the Effect of Vibration Phenomena on Workpiece Topomorphy Due to Cutter Runout in End-Milling Process. Machines. – 2018. – 6. – 27. – P. 1–11. <https://doi.org/10.3390/machines6030027>.
- 11 **Francisco J. G. Silva, Rui P. Martinho, Luís L. Magalhães, Filipe Fernandes, Rita C. M. Sales-Contini, Luís M. Durão, Rafaela C. B. Casais, Vitor F. C. Sousa A.** Comparative Study of Different Milling Strategies on Productivity, Tool Wear, Surface Roughness, and Vibration. J. Manuf. Mater. Process. – 2024. – 8. – 115. – <https://doi.org/10.3390/jmmp8030115>.
- 12 **Shucaiyang, Song Yu, Xianli Liu, Shuai Su, Yongzhi Zhou.** An Investigation of the Influence of a Micro-Textured Ball End Cutter's Different Parameters on the Surface Residual Stress of a Titanium Alloy Workpiece. J. Manuf. Mater. Process. – 2019. – 3. – 94. – P. 1–13; <https://doi.org/10.3390/jmmp3040094>.
- 13 **Storchak, M.; Stehle, T.; Möhring, H.-C.** Numerical Modeling of Titanium Alloy Ti10V2Fe3Al Milling Process. J. Manuf. Mater. Process. – 2023. – 7, 1. <https://doi.org/10.3390/jmmp7010001>.
- 14 **Mourtzis, D.; Doukas, M.; Bernidaki, D.** Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. Procedia CIRP 2014, 25, p.213–229. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.032>.
- 15 **Deepanraj B., Senthilkumar N., Hariharan G., Tamizharasan T., Tesfaye Tefera Bezabih.** Numerical Modelling, Simulation, and Analysis of the End-Milling Process Using DEFORM-3D with Experimental Validation. Advances in Materials Science and Engineering. Article ID 5692298. – 2022, P. 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/5692298>.
- 16 **Mathivanan A., Swaminathan G., Sivaprakasam P., Suthan R., Jayaseelan V., and Nagaraj M.** «DEFORM 3D simulations and Taguchi analysis in dry turning of 35CrNi16 steel». Advances in Materials Science and Engineering, Article ID 7765343. – 2022. – P. 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/7765343>.
- 17 **Козлов С. В., Ширшов О. Е.** Повышение эффективности режимов высокоскоростного фрезерования деталей из титановых сплавов. Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований /

Сб. ст. по материалам XXXV междунар. науч.-практ. конф. № 1 (28). Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2021. – С. 31–44.

18 **Vishwakarma P. and Sharma A.** 3D Finite Element Analysis of milling process for non-ferrous metal using deform-3D. *Materials Today Proceedings*, Vol. 26, No. 2. – 2020. – P. 525–528. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.131>.

19 **Stebunov S., Vlasov A., Biba N.** Prediction of fracture in cold forging with modified Cockcroft-Latham criterion. *Procedia Manufacturing*, Vol. 15. – 2018, P. 519–526.

20 **Tibor Kvačakaj, Juraj Tiža, Július Bacsó, Andrea Kováčová, Robert Kočíško, Rudolf Pernis, Monika Fedorčáková, Pavol Purcz.** Cockcroft-latham ductile fracture criteria for non-ferrous materials. *Materials Science Forum*, Vol. 782. – 2014. – P. 373–378. – <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.782.373>.

Поступило в редакцию 15.06.2024.

Поступило с исправлениями 15.06.2024.

Принято в печать 16.06.2024.

REFERENCES

1 **Maslov A. R., Skhirtladze A. G.** *Obrabotka trudnoobrabatyvayemykh materialov rezaniyem : uchebnoye posobiye.* – М. : Innovatsionnoye mashinostroyeniye, 2017. – 208 P.

2 **Breyev S. V., Serebrennikova A. G.** Vysokoskorostnoye frezerovaniye trudnoobrabatyvayemykh materialov: 2. Osobennosti obrabatyvayemosti pri frezerovanii / *Uchenyye zapiski KnAGTU. Nauki o prirode i tekhnike.* – № IV-1(16), 2013. – P. 59–65.

3 **Gurevich Ya. L., Gorokhov M. V., Zakharov V. I.** Rezhimy rezaniya trudnoobrabatyvayemykh materialov: Spravochnik. 2-oye izd., pererab. i dop. – М. : Mashinostroyeniye, 1986. – 240 p.

4 **Tchigirinsky J. L., Trung P. H., Lipatov A. A.** Features of Processing of Corrosion Resistant Steels / *Materials Science Forum.* – 2016. – Vol. 870. – P. 598–602. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.598.

5 **Breyev S. V., Serebrennikova A. G., Kozlova M. A.** Temperaturno-moshchnostnoy kriteriy kak sposob opredeleniya zony vysokoskorostnoy obrabotki trudnoobrabatyvayemykh materialov // *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologiya: 4-ya mezhdunar. prakt. konf. (g. Kursk, 25-26 dek. 2014 g.).* – Kursk, 2014. – P. 96–102.

6 **Teti R., Jemielniak K., O'Donnell G., Dornfeld D.** Advanced monitoring of machining operations. *CIRP Ann.* 2010, 59, P. 717–739. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.05.010>.

7 **Mohanraj T., Shankar S., Rajasekar R., Sakthivel N. R., Pramanik A.** Tool condition monitoring techniques in milling process. A review. *J. Mater. Res. Technol.* 2020. – 9. – P. 1032–1042. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.031>.

8 **He, Q., Saciotto, V., DePaiva, J. M., Guimaraes, M. C., Kohlscheen, J. Martins, M. M., Veldhuis, S. C.** Enhancing Tool Performance in High-Speed End Milling of Ti-6Al-4V Alloy: The Role of AlCrN PVD Coatings and Resistance to Chipping Wear. *J. Manuf. Mater. Process.* 2024, 8, 68. <https://doi.org/10.3390/jmmp8020068>.

9 **Hojati, F.; Azarhoushang, B.; Daneshi, A.; Hajyaghaee Khiabani, R.** Prediction of Machining Condition Using Time Series Imaging and Deep Learning in Slot Milling of Titanium Alloy. *J. Manuf. Mater. Process.* – 2022. – 6. – 145. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060145>.

10 **Constantine David, Dimitrios Sagris, I Evlampia Stergianni, Christos Tsiafis, Ioannis Tsiafis.** Experimental Analysis of the Effect of Vibration Phenomena on Workpiece Topomorphy Due to Cutter Runout in End-Milling Process. *Machines.* – 2018. – 6. – 27. – P. 1–11. – <https://doi.org/10.3390/machines6030027>.

11 **Francisco J. G. Silva, Rui P. Martinho, Luís L. Magalhães, Filipe Fernandes, Rita C. M. Sales-Contini, Luís M. Durão, Rafaela C. B. Casais, Vitor F. C., Sousa A.** Comparative Study of Different Milling Strategies on Productivity, Tool Wear, Surface Roughness, and Vibration. *J. Manuf. Mater. Process.* – 2024. – 8. – 115. <https://doi.org/10.3390/jmmp8030115>.

12 **Shucaí Yang, Song Yu, Xianli Liu, Shuai Su, Yongzhi Zhou.** An Investigation of the Influence of a Micro-Textured Ball End Cutter's Different Parameters on the Surface Residual Stress of a Titanium Alloy Workpiece. *J. Manuf. Mater. Process.* – 2019. – 3. – 94. – P. 1–13. – <https://doi.org/10.3390/jmmp3040094>.

13 **Storchak, M., Stehle, T., Möhring, H.-C.** Numerical Modeling of Titanium Alloy Ti10V2Fe3Al Milling Process. *J. Manuf. Mater. Process.* – 2023. – 7. – 1. – <https://doi.org/10.3390/jmmp7010001>.

14 **Mourtzis, D., Doukas, M., Bernidaki, D.** Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. *Procedia CIRP.* – 2014. – 25. – P. 213–229. – <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.032>.

15 **Deepanraj B., Senthilkumar N., Hariharan G., Tamizharasan T., Tesfaye Tefera Bezabih.** Numerical Modelling, Simulation, and Analysis of the End-Milling Process Using DEFORM-3D with Experimental Validation. *Advances in Materials Science and Engineering.* Article ID 5692298. – 2022. – P. 1–11. – <https://doi.org/10.1155/2022/5692298>.

16 **Mathivanan A., Swaminathan G., Sivaprakasam P., Suthan R., Jayaseelan V., and Nagaraj M.** «DEFORM 3D simulations and Taguchi analysis in dry turning of 35CND16 steel». *Advances in Materials Science and Engineering,* Article ID 7765343. – 2022. – P. 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/7765343>.

17 **Kozlov S. V., Shirshov O. E.** Increasing the efficiency of high-speed milling modes for parts made of titanium alloys. Questions of technical and physical and mathematical sciences in the light of modern research / *Sat. Art. based on materials of the XXXV international scientific-practical. conf. No. 1 (28).* Novosibirsk: Publishing house. LLC «SibAK». – 2021. – P. 31–44.

18 **Vishwakarma P. and Sharma A.** 3D Finite Element Analysis of milling process for non-ferrous metal using deform-3D. *Materials Today Proceedings*, Vol. 26, No. 2. – 2020. – P. 525–528. – <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.131>.

19 **Stebunov, S., Vlasov, A., Biba, N.** Prediction of fracture in cold forging with modified Cockcroft-Latham criterion. *Procedia Manufacturing*. – Vol. 15. – 2018. – P. 519–526.

20 **Tibor Kvačak, Juraj Tiža, Július Bacsó, Andrea Kováčová, Robert Kočiško, Rudolf Pernis, Monika Fedorčáková, Pavol Purcz.** Cockcroft-latham ductile fracture criteria for non-ferrous materials. *Materials Science Forum*. – Vol. 782. – 2014. – P. 373–378. – <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.782.373>.

**К. Т. Шеров¹, *С. О. Тусупова², Н. Ю. Кузьминова³,
Л. Н. Махмудов⁴, С. С. Айнабекова⁵**

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

^{3,5}Қарағанды индустриалдық университеті, Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.;

⁴Науайы мемлекеттік тау-кен және технологиялар университеті,

Өзбекістан Республикасы, Науайы қ.;

15.06.2024 ж. баспаға түсті.

15.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.

16.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚИЫН ӨНДЕЛЕТІН МАТЕРИАЛДАРДЫ ЖОҒАРЫ ЖЫЛДАМДЫҚТЫ ФРЕЗЕРЛЕУ ҮРДІСІНДЕ ҚАТТЫ ҚОРЫТПАЛЫ КЕСУ ПЛАСТИНАЛАРДЫҢ ТОЗУЫН ЗЕРТТЕУ

Орындалған зерттеулер отандық машина жасау өндірісі жағдайында қиын өнделетін материалдарды, атап айтқанда титан қорытпаларын, механикалық өңдеу мәселесі бар екенін көрсетті. Ең маңызды мәселе – титан қорытпаларын өңдеу кезінде кескіш құралдардың төмен өнімділігі және жоғары тозу қарқындылығы болып табылады. Титан қорытпаларын жоғары жылдамдықты фрезерлеу әдісімен өңдеу бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Айналдырықтың айналу жиілігі $n_{\text{айн}} \geq 6000-7000$ айн/мин асатын жоғары жылдамдықты фрезерлеу кезінде құралдың кесу бөлігінің тозуы байқалғаны анықталды.

Бұл мақалада Deform-3D арнайы компьютерлік бағдарламасының көмегімен VT1-0 титан қорытпасын өңдеу кезінде құралдың тозу процесін зерттеу нәтижелері келтірілген. Модельдеу үшін келесі өңдеу режимдері енгізілді $n=12000$ айн/мин, $t=1$ мм, $S=4500$ мм/мин.

Нәтижесінде тозу қарқындылығы негізінен бүйірлік фрезаның айналу жиілігіне және берілісіне байланысты екендігі анықталды. Сондай-ақ, бұл модельдеу нәтижелері бойынша уақытты экстраполяциялауға болады, оның барысында осы фрезерлеу режимінде қатты қорытпалы кесу пластиналардың тозуы сыни мәніне жетеді. Зерттеу № AP19174917 «Кесу

режимдерін оңтайландыру және процесі модельдеу арқылы қиын өнделетін материалдарды жоғары жылдамдықты фрезерлеудің сапасын зерттеу және жақсарту» гранты аясында орындалды.

Кілтті сөздер. Қиын өнделетін материалдар, титан, жоғары жылдамдықты фрезерлеу, құралдың тозуы, қатты қорытпалы кесу пластина, кесу жылдамдығы, беріліс.

**К. Т. Шеров¹, *С. О. Тусупова², Н. Ю. Кузьминова³,
Л. Н. Махмудов⁴, С. С. Айнабекова⁵**

¹Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana;

²Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

^{3,5}Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau;

⁴Navoi State Mining and Technological University, Republic of Uzbekistan, Navoi.

Received 15.06.2024.

Received in revised form 15.06.2024.

Accepted for publication 16.06.2024.

RESEARCH OF WEAR OF CARBIDE CUTTING INSERTS IN THE PROCESS OF HIGH-SPEED MILLING OF HARD-TO-PROCESS MATERIALS

The performed studies have shown that there is a problem of mechanical processing of hard-to-process materials, in particular titanium alloys in the conditions of domestic machine-building industries. The most significant problem is the low productivity and high wear rate of the cutting tool when processing titanium alloys. Experimental studies have been conducted on the processing of titanium alloys by high-speed milling. It was found that during high-speed milling at spindle speeds exceeding $n_{\text{шп}} \geq 6000-7000$ rpm, wear of the cutting part of the tools is observed.

This article presents the results of a study of the tool wear process during processing of titanium alloy VT1-0 using a special computer program DEFORM-3D. For modeling, the following processing modes were introduced $n=12000$ rpm, $t=1$ mm, $S=4500$ mm/min.

As a result, it was found that the intensity of wear depends mainly on the rotational speed of the end mill and the feed. And also, based on the results of this modeling, it is possible to extrapolate the time during which, under this milling mode, the carbide cutting inserts will reach a critical wear value. The research was carried out within the framework of grant № AR19174917 «Research and improvement of the quality of high-speed milling of hard-to-process materials by modeling the process and optimizing cutting modes».

Keywords: Hard-to-process material, titanium, high-speed milling, tool wear, carbide insert, cutting speed, feed.

МРНТИ 53.31.15

***A. M. Aubakirov¹, L. B. Tolymbekova²,
A. G. Kaliakparov³, Kh. B. Temirtas⁴, F. Khoshnaw⁵**

^{1,2,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

³ERG Capital Projects, Republic of Kazakhstan, Astana

⁵De Montfort University, United Kingdom, Leicester

*e-mail: almat.aubakirov@list.ru

RESEARCH OF MOISTURE CAPACITY AND THE PROCESS OF WATER SATURATION OF A SPECIAL COKE

In the production of ferroalloys, high quality of charge materials and their careful preparation are required to ensure the normal operation of furnaces and compliance of products with customer standards. Carbon reducing agents used in this process must have high reactivity, electrical resistance, and meet strict requirements for ash, moisture, and volatile matter content. The quality of reducing agents significantly affects the technical performance of the main equipment and the metal recovery process. One of the important indicators of reducing agents is their humidity, which affects the operating mode of furnaces and their transportation.

In the ferroalloy industry, fluctuations in the moisture content of the charge components can lead to changes in the thermal and electrical modes of the furnace. For example, the production of high-carbon ferrochrome requires pre-drying of reducing agents to a strictly defined humidity index. The moisture capacity and water saturation of reducing agents are important indicators for determining the temperature and drying mode.

The study examines the use of brand G coals from the Zhalyn deposit for the production of special coke and mixed with brand D coals from the Shubarkol deposit in a ratio of 1:1. The purpose of the experiments was to study the moisture capacity and water saturation process of the resulting special coke in comparison with the Shubarkol special coke.

According to the results of the conducted studies, it was found that the maximum moisture capacity and water saturation of a special coke obtained from a mixture of Zhalyn and Shubarkol coals in a ratio of 1:1 are achieved in 9 minutes and directly depend on the porosity of the material.

Keywords: coals, reducing agent, special coke, coke, ferroalloy production, low-baking coals, non-baking coals, Zhalyn.

Introduction

To date, in the production of ferroalloys in ore-reducing electric furnaces, much attention is paid to reducing agents, the quality of which largely determines the technical

parameters of the main unit, as well as ensures the normal course of smelting and the necessary degree of metal recovery [1–6].

As it is known, one of the main and stringent requirements for a reducing agent is humidity indicators, which affect the modes and performance indicators of metallurgical furnaces, as well as the transportation of coal and coke. Also, as it is known, a number of reducing agents are used in the ferroalloy industry, where, under conditions of weight dosing, fluctuations in the moisture content of the charge components lead to instability of their dry mass, affecting the thermal and electrical modes of the furnace [7–12].

According to the requirements of the production technology of high-carbon ferrochrome, ferroalloy plants provide for pre-drying of solid reducing agents immediately before feeding into the furnace. Strict requirements are imposed on the initial moisture of the reducing agents entering the drying. For example, the moisture of the Shubarkol special coke should not exceed 15 %.

To determine the moisture indicators and determine the heating temperature for drying materials, moisture capacity and water saturation indicators have a direct relationship.

Moisture capacity is the ability of a substance to absorb and retain a certain amount of moisture, expressed in weight or volume units. The moisture capacity of coke depends on the size and shape of the particles, which determine the different size of the outer surface, on the porosity, which in turn depends on the method of coking, and can be hundreds or thousands of times higher than the total content of bound moisture in it.

Water saturation is the process of filling free spaces (voids, pores) of coke over a certain period of time.

Moisture is a factor affecting transportation, as well as the mode and efficiency of metallurgical furnaces. Under conditions of weight dosing of the charge components, fluctuations in coke moisture cause its dry mass to be unstable, which changes the thermal and electrical modes in the furnace. Control is also necessary for commercial settlements with suppliers.

In works [13–14] published earlier, the results of researches on the possibility of using low-baking G-grade coals (Zhalyn deposit) for the production of special coke (hereinafter referred to as special coke ZhSh) were presented. The primary research results showed the expediency of using coals mixed with non-baking coals of the D brand (Shubarkol deposit) in a ratio of 1:1 by weight.

Methods and materials

In this work, in order to determine the drying parameters of the obtained special coke in conditions equated to industrial ones, researches were conducted on the moisture capacity and water saturation process of the special coke ZhSh in comparison with the special coke Shubarkol.

The purpose of the experiments was to study the maximum moisture capacity and dynamics of the process of water saturation of the Shubarkol special coke and the special coke obtained by mixing Zhalyn and Shubarkol coals.

The special coke Shubarkol and special coke ZhSh fraction 0-20 mm were used as the object of the research, obtained as a result of heat treatment to temperatures of 650 °C, 750 °C and 850 °C.

At the initial stage of the experiments, six prototypes were selected from the test sample of special coke (sample weight – 200 kg): three samples of special coke Shubarkol and three samples of special coke ZhSh, the mass of each sample was 500 g.

To determine the moisture capacity and water saturation, a special coke pre-dried at 200 °C was immersed on a mesh bottom covered with filter paper in a special cylindrical container with a diameter of 300 mm. The height of the layer of special coke was 30 mm (Figure 1). Next, the cylinder was placed in a cuvette with water so that the water level exceeded the upper boundary of the layer of special coke by 50 mm. This level was maintained throughout the entire experience.

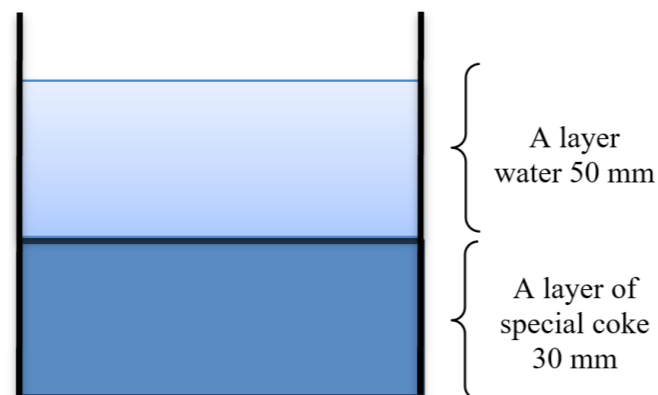


Figure 1 – Scheme of immersion of a special coke in water

The indicators of moisture capacity and the process of water saturation of the special coke were determined by weighing the sample every 1 (one) minute, until the special coke was completely saturated with water.

The moisture capacity of the special coke (B_e) in grams of water per 1 g of dry coke was calculated using the following formula (grams of water per gram of dry matter) [9]:

$$B_e = \frac{m_k}{m_H} \cdot \frac{100}{100 - W_t^r} - 1; \quad (1)$$

where m_k – is the mass of coke after getting wet, gr;

m_H – is the mass of coke before getting wet, g;

W_t^r – is the mass fraction of moisture of the initial sample, %.

The water saturation index of the special coke (B_{Π}) was defined as [9]:

$$B_{\Pi} = \left(\frac{m_k - m_H}{m_H} \right) \cdot 100; \quad (2)$$

The experimental results are presented in Table 1. A graphical representation of the results is shown in Figures 2 and 3.

Table 1 – Indicators of moisture capacity and water saturation of the setcox

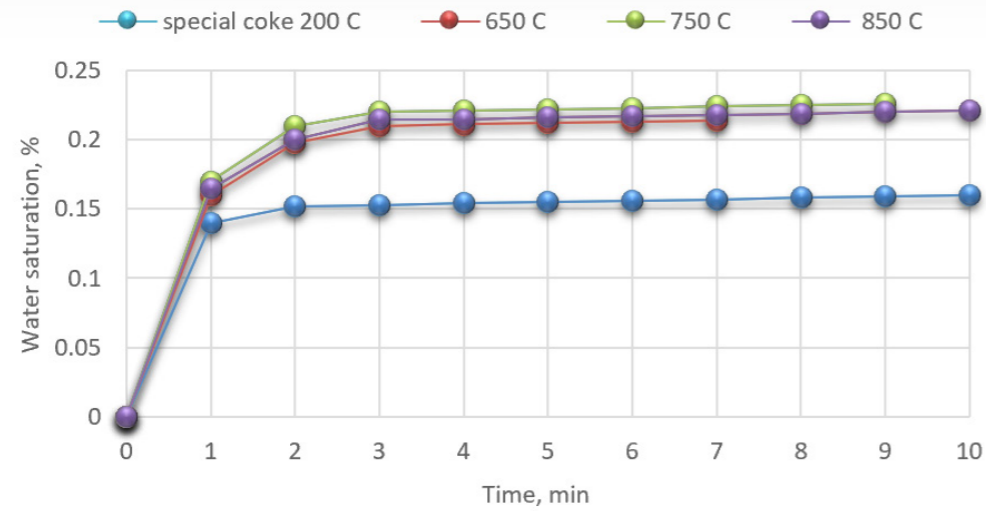
№	Samples	Processing temperature, °C	Time of achievement, B_{emax} , min	B_{emax} , %
1	Shubarkol special coke	200°C	10	23
2	Shubarkol special coke	650°C	7	27
3	Shubarkol special coke	750°C	9	29
4	Shubarkol special coke	850°C	10	28
5	Special coke ZhSh	200°C	9	24
6	Special coke ZhSh	650°C	7	28
7	Special coke ZhSh	750°C	8	30
8	Special coke ZhSh	850°C	9	29

It follows from table 1 that the time to achieve maximum moisture capacity and maximum water saturation of samples of special coke Shubarkol is reached within 10 minutes, special coke ZhSh – 9 minutes. In addition, it can be seen that with an increase in the pyrolysis temperature, the time to achieve maximum moisture capacity increases.

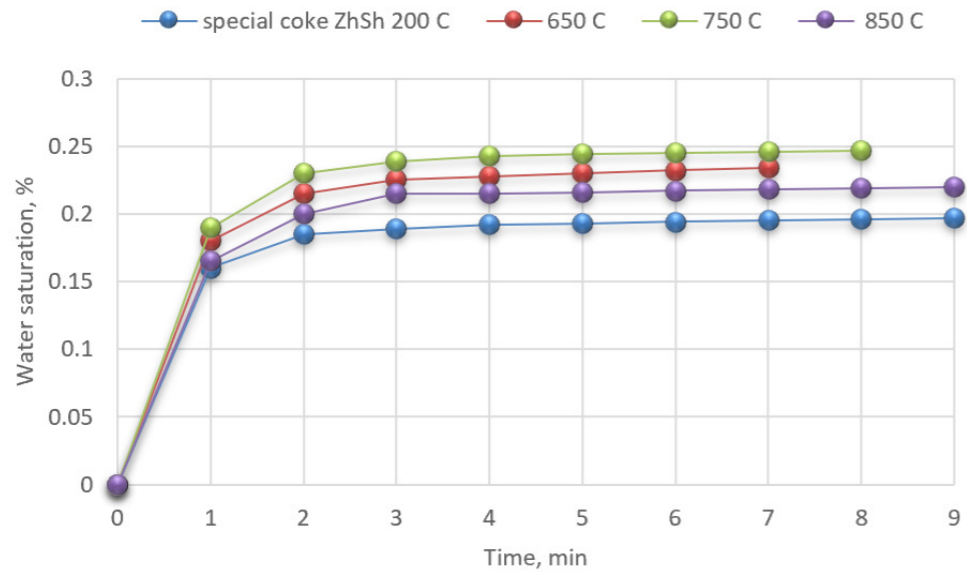
Results and discussion

According to the results of the experiments, it was found that the porosity and moisture capacity indicators are almost completely consistent. It should be noted that the maximum value of moisture capacity should correspond to the porosity index of coke materials. It is known that standard coke, unlike special cokes, has a high porosity due to the higher temperature of coking and heat treatment. In particular, if for the commodity classes of the special coke Shubarkol 10–25 mm, the porosity is 25–27.4 %, and the maximum moisture capacity was 29 %. For special coke, the porosity is in the same range, on average 25–29 %, the maximum moisture capacity is 30 %.

Active water saturation (about 90 % of the maximum moisture capacity) occurs in the first minute of immersion in an aqueous medium.



a)

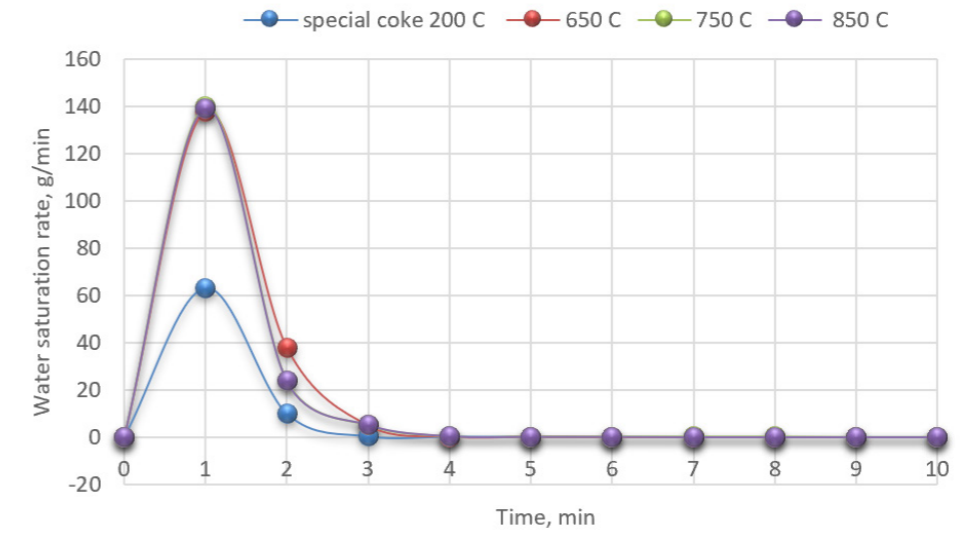


b)

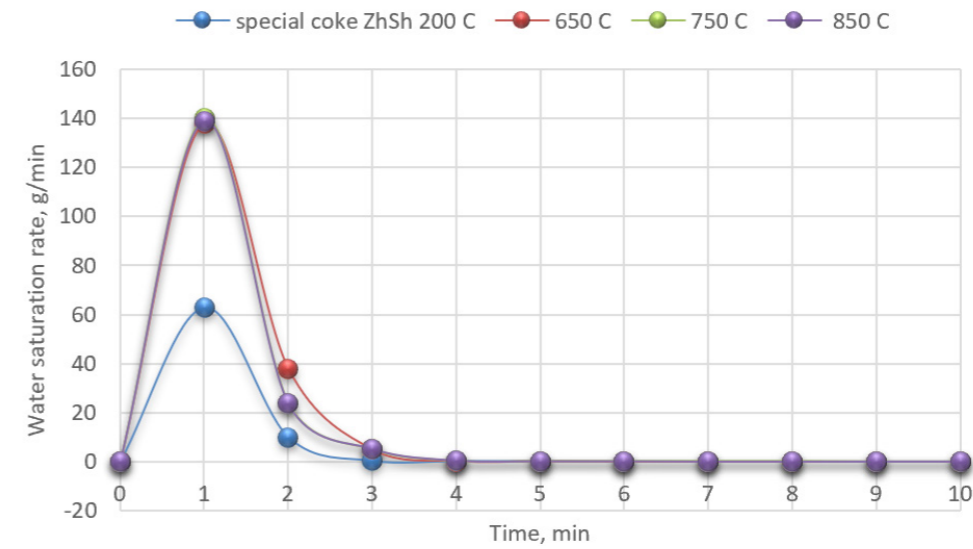
a) Shubarkol special coke; b) Special coke ZhSh

Figure 2 – Dynamics of water saturation of the studied reducing agents

The same pattern is observed in terms of the rate of water saturation (Figures 2 and 3), when the maximum speed is in the first minute. It should be noted that the pattern corresponds to all studied samples of special coke, regardless of the temperature of heat treatment.



a)



b)

a) Shubarkol special coke; b) Special coke ZhSh

Figure 3 – The rate of water saturation of special cokes

Table 2 shows the average results of technical analyses of special boxes obtained in the laboratory.

Table 2 – Technical compositions of special coke prototypes

Material	T, °C pyrolysis	Content, %		
		A ^d	V ^d	W ^r
Special coke	650	2,4	7,8	3,1
Special coke	750	3	2,6	2,8
Special coke	850	3	1,7	2,4
Special coke ZhSh	650	10,24	3,61	3,5
Special coke ZhSh	750	9,87	3,57	2,5
Special coke ZhSh	850	9,90	4,03	2,24

It has been experimentally established that the maximum moisture capacity and maximum water saturation of samples of special coke Shubarkol is achieved within 10 minutes, special coke ZhSh – 9 minutes. In addition, with an increase in the final processing temperature, the time to achieve maximum moisture capacity increases. Active water saturation, which is about 90 % of the maximum moisture capacity, occurs in the first minute of immersion in an aqueous medium. A similar pattern is observed in terms of the rate of water saturation, when the maximum speed falls on the first minute, and for all studied samples of special coke, regardless of the temperature of their heat treatment.

Conclusions

Researches of the moisture capacity of a special coke conducted for several important reasons that affect its application and effectiveness in various industrial processes:

1) Optimization of production processes. Comprehension the moisture capacity allows you to adjust the production processes of special coke to achieve optimal product characteristics.

2) Improved performance. The moisture capacity of the special coke affects its behavior during its use in metallurgical furnaces. Moisture content control helps to avoid problems associated with uneven heating, vapor explosions or deterioration of the quality of the final product.

3) Storage and transportation. Knowing of moisture capacity makes it possible to develop more efficient storage and transportation methods, minimizing the risk of absorbing excess moisture from the environment. This is especially important to prevent clumping, spontaneous combustion and other problems associated with high moisture content.

4) Quality control. Regular measurement of moisture capacity helps to maintain constant quality of the special coke, which is critically important for its use in high-tech and demanding areas.

5) Energy efficiency. Moisture capacity researches help to minimize energy losses and increase the overall efficiency of using special coke in energy processes.

6) Environmental considerations. Comprehension moisture capacity contributes to the development of environmentally friendly methods of production, storage and use

of special coke. This helps to reduce emissions of harmful substances associated with excess moisture and improve the environmental profile of the enterprise.

In that way, researches of the moisture capacity of special coke are vital for optimizing its production, storage, transportation and use, which ultimately leads to increased efficiency, safety and sustainability of industrial processes.

As a result of the conducted research, it was found that the maximum moisture capacity and maximum water saturation of the special coke obtained by mixing Zhalyn and Shubarkol coals in a ratio of 1:1 is achieved within 9 minutes and directly depends on the porosity of the material.

REFERENCES

1 **Mizin, V. G., Serov, G. V.** Uglерodistyе vosstanoviteli dlya ferrosplavov. // M: Metallurgist. – 1980, – 272 p.

2 **Zhunossov, A. K., Tolymbekova, L. B., Bykov, P. O., Zayakin, O. V.** Melting Ferrochrome Using Chrome-Ore Briquettes. // Metallurgist. – 2023. – №. 67(5-6) – P. 606–613.

3 **Nurumgaliyev, A., Zhuniskaliyev, T., Shevko, V., Mukhambetgaliyev, Y., Yerekeyeva, G., Kelamanov, B., Kuatbay, Y., Badikova, A., Yerekeyeva, G., Volokitina, I.** Modeling and development of technology for smelting a complex alloy (ligature) Fe-Si-Mn-Al from manganese-containing briquettes and high-ash coals // Scientific Reports. – 2024. – №14 (1), 7456 <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57529-6>.

4 **Strakhov, V. M., Yedil'baev, B. A., Yedil'baev, E. A., Kaliakparov, A. G.** Steel-Industry Applications of Kazakhstan's Long-Flame Coal and Special Cokes // Coke and Chemistry this link is disabled. – 2020. – №. 63(11). – P. 522–532. <https://doi.org/10.3103/S1068364X20110071>.

5 **Baisanov, S. O., Baisanov, A. S., Isagulov, A. Z., Esengaliyev, D. A., Ospanov, N. I.** Development of smelting technology of refined ferromanganese with special complex reducing agents // Izvestiya Ferrous Metallurgy. – 2018. – Vol. 61. – № 9. – P. 689–694 <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-9-689-694>.

6 **Nikitin, G. M., Kaliakparov, A. G.** Osnovy kompleksnogo podhoda pri poluchenii konkurentosposobnoj produkcii dlya predpriyatij chernoј metallurgii. // Science and Technology of Kazakhstan. – 2005. – №. 3. – P. 85-89.

7 **Chaplygin D. V., Kucin V. S., Grishchenko S. G., Ovcharuk A. N., Taran A. Yu.** Novye effektivnye tekhnologicheskie resheniya v proizvodstve ferrosplavov s ispol'zovaniem uglерodistyh vosstanovitelej (Part 1) // Ecology and industry. – 2016. – № 2 (47). – P. 4–12.

8 **Korennaya K. A., Loginovskij O. V., Maksimov A. A., SHurygin A. N., Zimin A. V.** O napravleniyah innovacij dlya krupnyh promyshlennyh predpriyatij (na primere ferrosplavnyh proizvodstv) // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics. – 2014. – T. 14. – № 4. – P. 107–115.

9 **Strakhov V. M.** Nekotorye aspekty vliyaniya uslovij koksortirovki na kachestvo koksa s polucheniem novykh marok // Coke and chemistry. – 2022. – № 12. – P. 7-18.

10 Ul'eva G. A., Kim V. A. Methods of determining the porosity of special coke // Coke and Chemistry. – 2012. – №. 55(5). P. 167–171. <https://doi.org/10.3103/S1068364X12050092>.

11 Ul'eva V. A., Kim V. A. Sravnitel'naya ocenka struktury speckoksov, ispol'zuemyh v elektrotermii // Bulletin of the Moscow State Technical University named after G. I. Nosov. – 2012. – №. 2. – P. 20–23.

12 Nurmuhambetov Zh. U., Kim V. A., Tolymbekov M. Zh. Issledovaniya svoystv speckoksa iz SHubarkol'skih uglej // Kazakhstan Science News. – 2005. – №.2. – P. 41–46.

13 Aubakirov A. M., Kaliakparov A. G., Tolymbekova L. B., Kapelyushin Yu. E., Kim S. V. Analiz i ocenka kachestva syr'evoy bazy dlya proizvodstva special'nyh vidov koksa // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – №3. – P. 76–85. <https://doi.org/10.48081/HMWS9874>.

14 Aubakirov A. M., Tolymbekova L. B., Kaliakparov A. G., Khoshnaw F., Kulumbaev N. K. Production of special coke from low-caking coals used in the ferroalloy industry // Science and Technology of Kazakhstan. – 2024. – №1. – P. 138–149 <https://doi.org/10.48081/LDCU7796>.

Received 30.05.2024.

Received in revised form 31.05.2024.

Accepted for publication 14.06.2024.

*А. М. Аубакиров¹, Л.Б. Толымбекова², А. Г. Калиакпаров³,
Х. Б. Темірмас⁴, Ф. Khoshnaw⁵

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

³ERG Capital Projects, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

⁵Де Монтфорт университеті, Ұлыбритания, Лестер қ.

30.06.2024 ж. баспаға түсті.

31.05.2024 ж. түзетулерімен түсті.

14.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

АРНАЙЫ КОКСТЫҢ ЫЛҒАЛ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫ МЕН СУДЫ ҚАНЫҚТЫРУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Ферроқорытпаларды өндіру кезінде пештердің қалыпты жұмысын және оның тапсырыс берушілердің стандарттарына сәйкестігін қамтамасыз ету үшін шихта материалдарының жоғары сапасын және оларды мұқият дайындауын талап етеді. Аталмыш процессте қолданылатын көміртекті тотықсыздандырығыштар жоғары реактивтілікке, электр кедергісіне ие болуы керек және құл, ылғал және ұша заттардың қатаң талаптарына сай болуы керек. Тотықсыздандырығыштардың сапасы негізгі жабдықтың техникалық көрсеткіштеріне және металды қалтына келтіру процесіне айтарлықтай әсер етеді. Тотықсыздандырығыштардың маңызды көрсеткіштерінің бірі – ылғалдылық, себебі ол пештердің жұмыс режиміне және тасымалдауға әсер етеді.

Ферроқорытпа өнеркәсібінде шихта компоненттерінің ылғалдылығының ауытқуы пештің жылу және электр режимдерінің өзгеруіне әкелуі мүмкін. Мысалы, жоғары көміртекті феррохромды өндіру үшін тотықсыздандырығыштарды ылғалдылықтың қатаң белгіленген көрсеткішіне дейін алдын-ала келтіру қажет. Тотықсыздандырығыштардың ылғал сыйымдылығы мен қанықтылығы температура мен келтіру режимін анықтаудың маңызды көрсеткіштері болып табылады.

Зерттеу барысында Жалын кен орнының Г маркалы көмірін арнайы кокс өндіру үшін және Шұбаркөл кен орнының Д маркалы көмірімен 1:1 қатынасында пайдалану қарастырылады. Эксперименттердің мақсаты – Шұбаркөл арнайы кокспен салыстырғанда алынған арнайы кокстың ылғал сыйымдылығы мен суды қанықтыру процесін зерттеу.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша Жалын және Шұбаркөл көмірінің қоспасынан 1:1 қатынасында алынған арнайы кокстың максималды ылғал сыйымдылығы мен суға қанықтылығы 9 минут ішінде қол жеткізілетіні және материалдың кеуектілігіне тікелей тәуелді екендігі анықталды.

Кілтті сөздер: көмір, тотықсыздандырығыш, арнайы кокс, кокс, ферроқорытпа өндірісі, нашар күйежентекелетін көмір, күйежентекелмейтін көмір, Жалын.

*А. М. Аубакиров¹, Л.Б. Толымбекова², А. Г. Калиакпаров³,
Х. Б. Темірмас⁴, Ф. Khoshnaw⁵

^{1,2,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³ERG Capital Projects, Республика Казахстан, г. Астана

⁵Университет Де Монтфорт, Великобритания, г. Лестер

Поступило в редакцию 30.05.2024.

Поступило с исправлениями 31.05.2024.

Принято в печать 14.06.2024.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАГОЕМКОСТИ И ПРОЦЕССА ВОДОНАСЫЩЕНИЯ СПЕЦКОКСА

При производстве ферросплавов требуется высокое качество шихтовых материалов и тщательная их подготовка для обеспечения нормальной работы печей и соответствия продукции стандартам заказчиков. Углеродистые восстановители, используемые в этом процессе, должны обладать высокой реакционной способностью, электрическим сопротивлением, и соответствовать строгим требованиям по содержанию золы, влаги и летучих веществ. Качество восстановителей значительно влияет на технические показатели основного оборудования и процесс восстановления металла. Одним из важных показателей восстановителей является их влажность, которая влияет на режим работы печей и их транспортировку.

В ферросплавной промышленности колебания влажности компонентов шихты могут привести к изменениям тепловых и электрических режимов печи. К примеру, для производства высокоуглеродистого феррохрома

требуется предварительная сушка восстановителей до строго определенного показателя влажности. Влагоемкость и водонасыщение восстановителей являются важными показателями для определения температуры и режима сушки.

В исследовании рассматривается использование углей марки Г месторождения Жалын для производства спецкокса и в смеси с углями марки Д месторождения Шубарколь в соотношении 1:1. Целью экспериментов было изучение влагоемкости и процесса водонасыщения полученного спецкокса в сравнении с Шубаркольским спецкоксом.

По результатам проведенных исследований установлено, что максимальная влагоемкость и водонасыщение спецкокса, полученного из смеси углей Жалын и Шубарколь в соотношении 1:1, достигаются за 9 минут и напрямую зависят от пористости материала.

Ключевые слова: угли, восстановитель, спецкокс, кокс, производство ферросплавов, слабоспекающиеся угли, неспекающиеся угли, Жалын.

МРНТИ 53.37.29

***P. O. Bykov¹, A. B. Kuandykov¹, V. A. Chaikin²,
M. M. Suyundikov¹, A. K. Zhunusov³**

¹Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²Smolensk Regional Branch of the Russian Association of Foundry Workers, Russian Federation, Safonovo;

*e-mail: Bykov_petr@mail.ru

THERMODYNAMIC MODELING OF FLUX REFINING OF PRIMARY ALUMINUM IN A BUCKET

This article provides a thermodynamic analysis of the process of processing primary aluminum with boric acid in a ladle. HSC Chemistry 9.0 software from Outotec Technologies was used for calculations. In the calculations, the temperature range under study corresponded to the production conditions of Kazakhstan Electrolysis Plant JSC within the range of 650–950 °C. The pressure range was taken based on the technological conditions for flux processing of aluminum in a transfer ladle with a working height of 2 m and was in the range of 101.33–148.99 kPa. The presence of the solid phase and low kinetics of the processes are characterized by the lower limit of the specified temperature range. The upper temperature limit is the closest to real operating conditions during electrolysis. The pressure at the metal mirror is represented by the lower limit in the pressure range, the upper limit is the pressure at the immersion depth of the flux equivalent to 2 m. The immersion depth of the sample in the calculations varied in the range of 0.5–2 m.

The research was carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the «Zhas Galym» competition under the project IRN AR19175493 «Development of technology for refining primary aluminum with filters with an active surface».

Thermodynamic analysis in the studied range of temperatures and pressures clearly indicates that vanadium boride phases are more stable compared to aluminum borides, and, therefore, they will form preferentially in this temperature range. The order of stability also suggests that vanadium can be easily removed from aluminum melts by adding boron.

Keywords: aluminum, thermodynamic modeling, flux, boric acid, refining.

Introduction

In the production of anodes for electrolysis baths in the conditions of Kazakhstan Electrolysis Plant JSC (KEZ JSC), coke produced by UPNK-PV LLP (Pavlodar) is partially involved in the production. Locally produced coke contains a high degree of vanadium and other impurities, which in turn limits its use at the enterprise.

A literature review showed that there are methods for refining primary aluminum from vanadium impurities with boron compounds, which have not received widespread industrial use [1–15].

From works [13 – 15] it is known that the occurrence of chemical reactions in the Al-V-B system is complex. VB₂ compounds are thermodynamically stable at operating temperatures of the electrolysis and aluminum casting process of 950 – 650 °C. The kinetics of chemical reactions with the formation of VB₂ compounds during refining with Al-B based alloys is characterized by a low rate due to the formation of an insoluble ring of reaction products consisting of vanadium diboride (VB₂).

Materials and methods

In this work, a thermodynamic analysis of the process of processing primary aluminum with boric acid was carried out according to the method described in [16]. HSC Chemistry 9.0 software from Outotec Technologies was used for calculations.

When refining a molten raw aluminum with boric acid at a temperature in the range of 650 – 950 °C and a pressure in the range of 101.33 kPa, boric acid (H₃BO₃) undergoes a transformation into boron oxide (B₂O₃), which in turn interacts with the molten aluminum and then with compounds vanadium according to the following formulas:



In the calculations, the temperature range under study corresponded to the production conditions of KEZ JSC within the range of 650 – 950 °C. The pressure range was taken based on the technological conditions for flux processing of aluminum in a transfer ladle with a working height of 2 m in the range of 101.33–148.99 kPa. The presence of a solid phase and low kinetics of processes are characterized by the lower limit of the specified range. The upper limit is the closest to real operating conditions during electrolysis. The pressure at the metal mirror is represented by the lower limit in the range, the upper limit is the pressure at the immersion depth of the flux equivalent to 2 m. The immersion depth of the sample varies in accordance with the height of the ladle and was in the range of 0.5–2 m. The temperature range was taken in accordance with the operating conditions in the workshop: from 650 °C to 950 °C, corresponding to the highest density of aluminum melt (2380 kg/m³) in the considered temperature range.

Results and discussion

The thermodynamic parameters were calculated for compounds AlB₂ and VB₂. Table 1 and Figure 1 show the calculated values Cp, ΔG, ΔH, ΔS.

Table 1 – Calculated values Cp, ΔG, ΔH, ΔS for compounds AlB₂ and VB₂

Compound	Parameter	Design temperature range, °C (at a pressure of 102.39 kPa)						
		650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C
AlB ₂	Cp	75,764	77,363	78,938	80,494	82,033	83,560	85,075
	ΔH	23,587	27,416	31,323	35,309	39,372	43,512	47,728
	S	103,132	107,171	111,086	114,889	118,590	122,196	125,715
	ΔG	-71,619	-76,877	-82,334	-87,984	-93,821	-99,841	-106,039
VB ₂	Cp	79,019	80,232	81,361	82,409	83,381	84,277	85,524
	ΔH	-161,700	-157,719	-153,678	-149,584	-145,439	-141,247	-137,004
	S	102,968	107,168	111,216	115,123	118,898	122,549	126,090
	ΔG	-256,755	-262,009	-267,469	-273,128	-278,979	-285,016	-291,232

At temperatures of 650 – 950 °C and atmospheric pressure, the change in Gibbs energy for compounds VB₂ is -256.755 and – 291.232 kJ/mol, and AlB₂ is -71.619 and -106.039 kJ/mol, respectively. The change in enthalpy is a negative value for the reactions of vanadium diboride; therefore, the formation of this compound is exothermic in nature, while the formation of aluminum diboride, on the contrary, is endothermic in nature due to positive enthalpy.

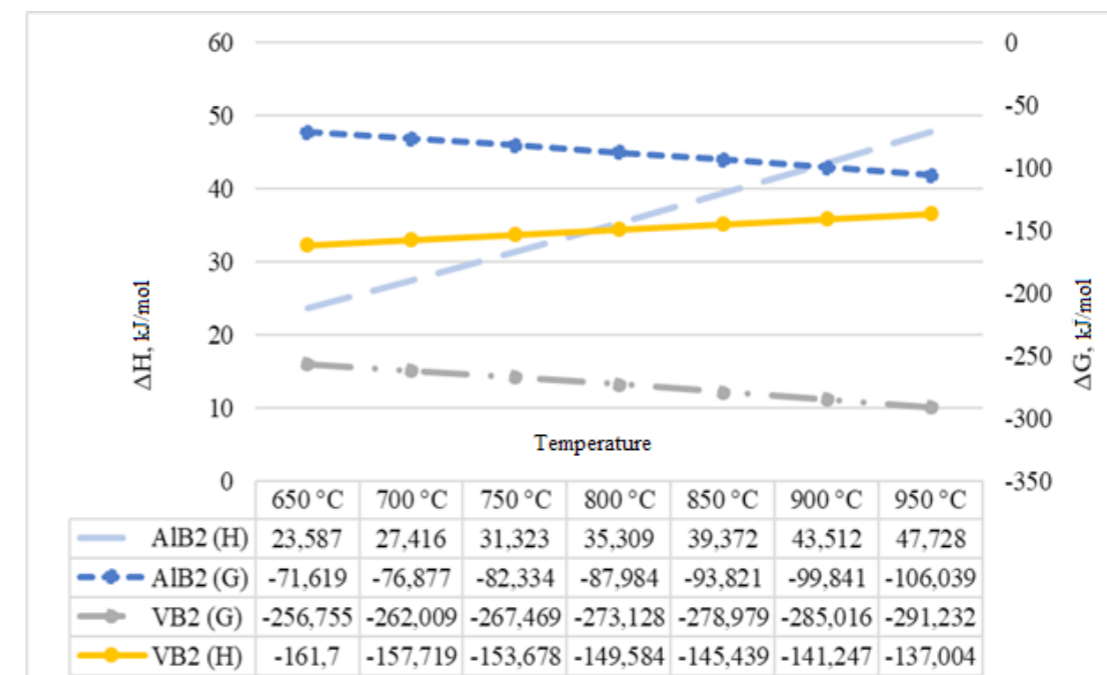


Figure 1 – Dependence of the change in Gibbs energy and change in enthalpy for VB₂ and AlB₂ on temperature

The work also included a calculation of the thermodynamic parameters of the chemical reaction AlB₂ + V = VB₂ + Al. Table 2 and Figure 2 show the calculated values ΔG, ΔH, ΔS, log k.

Table 2 – Calculated values ΔG , ΔH , ΔS , $\log k$ for a chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$

Chemical reaction	Parameter	Design temperature range, °C (at a pressure of 102.39 kPa)						
		650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C
		$AlB_2 + V = VB_2 + Al$	ΔH	-163,214	-173,692	-173,476	-173,302	-173,176
	S	22,900	11,668	11,885	12,051	12,166	12,232	12,253
	ΔG	-184,354	-185,047	-185,637	-186,235	-186,841	-187,451	-188,063
	$\log k$	10,432	9,933	9,478	9,066	8,690	8,347	8,032

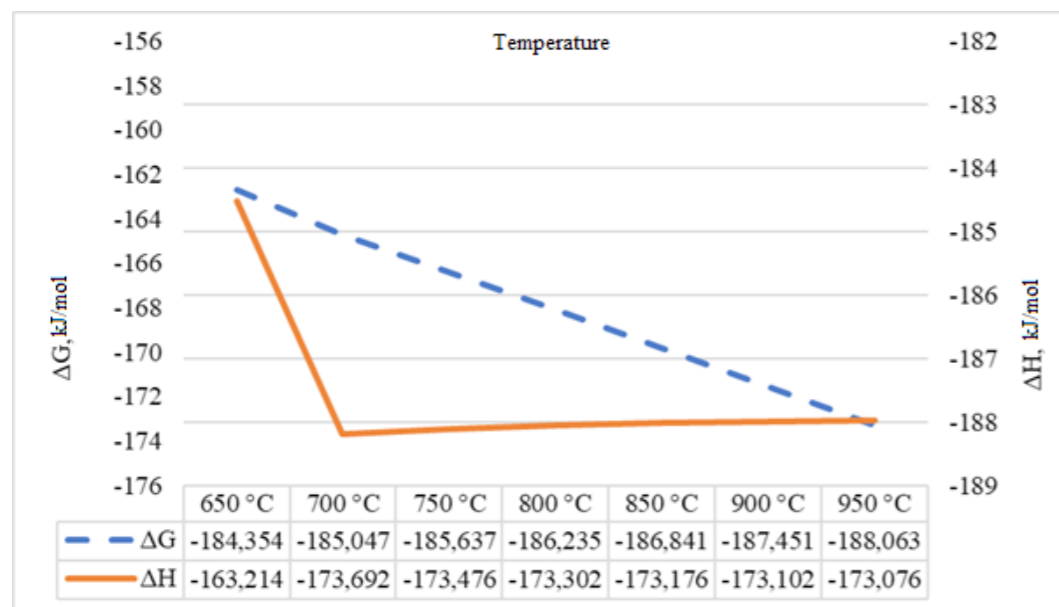


Figure 2 – Graph of changes in Gibbs energies and enthalpy for a chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$ depending on temperature

Analysis of thermodynamic parameters confirms that at atmospheric pressure and temperatures from 650 to 950 °C the reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$ proceeds with the formation of vanadium diboride (VB_2) the change in Gibbs energy is – 184.354 and – 188.676 kJ/mol, respectively. An increase in the Gibbs energy with increasing temperature indicates an increase in the stable nature of the occurrence of chemical reactions. The change in enthalpy as a whole is a negative value; therefore, the formation of these compounds is exothermic in nature. It can be concluded that the chemical reaction is thermodynamically favorable.

Further in the work, a thermodynamic analysis was carried out for the conditions of immersion of the flux into the melt to a depth of 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m.

Table 3 and Figure 3 show the calculated values of the Gibbs energy for compounds VB_2 and AlB_2 .

Table 3 – ΔG for compounds AlB_2 and VB_2 at a depth of 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m.

Compound	Depth of flux immersion into the melt, m	Design temperature range, °C						
		650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C
AlB_2	0,5	-197,56	-202,81	-208,27	-213,92	-219,76	-225,78	-231,98
	1,0	-443,73	-448,99	-454,42	-459,14	-465,45	-472,77	-479,51
	1,5	-688,84	-694,05	-700,67	-706,41	-714,63	-720,70	-727,58
	2,0	-936,06	-941,27	-947,71	-953,11	-960,61	-966,71	-973,54
VB_2	0,5	-307,17	-312,42	-317,88	-323,54	-329,39	-335,43	-341,64
	1,0	-689,91	-694,82	-700,28	-706,13	-713,28	-719,41	-726,74
	1,5	-1070,94	-1076,01	-1083,34	-1091,45	-1100,63	-1107,26	-1118,38
	2,0	-1455,38	-1461,57	-1468,48	-1475,58	-1485,12	-1491,89	-1511,17

At a temperature of 650 °C and pressures of 102.39 kPa (at the surface of the melt) and 148.99 kPa (when introducing flux to a depth of 2 m), the change in the Gibbs energy for the formation of compound VB_2 is -256.755 and -1455.3 kJ/mol, respectively. For the AlB_2 compound under such conditions, the change in Gibbs energy is -71.619 and -936.06 kJ/mol. for the initial temperature, and -291.232 and -1511.17 kJ/mol for a temperature of 950 °C, respectively, for VB_2 . For AlB_2 , the change in Gibbs energy is -106.039 and -973.54 kJ/mol.

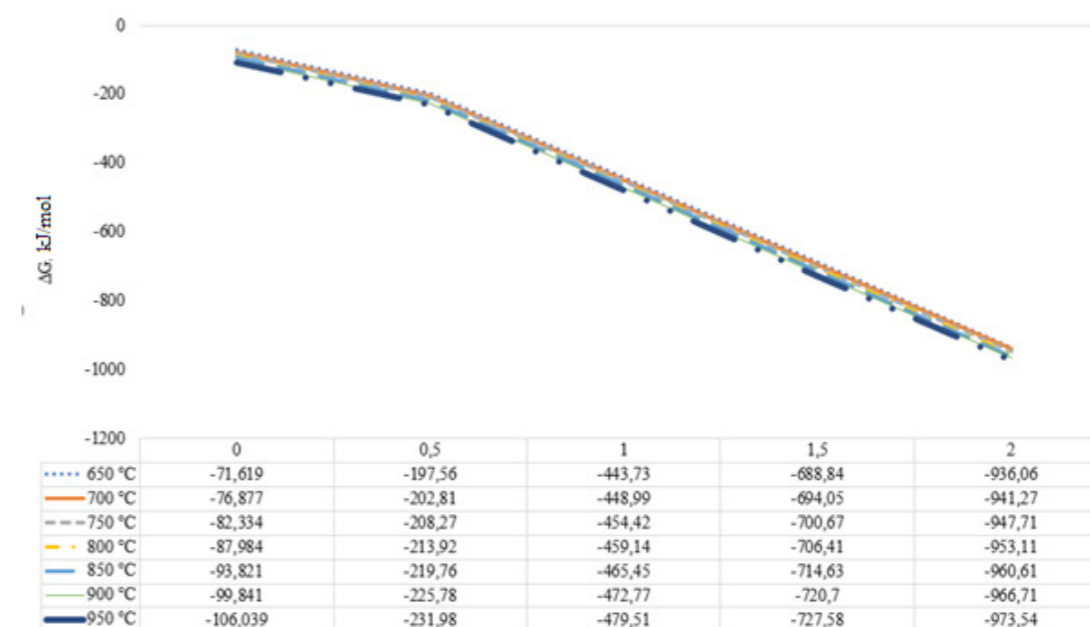


Figure 3 – Dependence of the change in Gibbs energy for VB_2 and AlB_2 on temperature and immersion of boron-based flux into the aluminum melt at different temperatures

Further in the work, similar thermodynamic calculations were carried out to change the isobaric-isothermal potential of the system for a chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$.

Table 4 and Figure 4 show the calculated Gibbs energy values for the chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$

Table 4 $-\Delta G$ for the chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$ at a depth of 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m.

Compound	Depth of flux immersion into the melt, m	Design temperature range, °C						
		650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C
$AlB_2 + V = VB_2 + Al$	0	-184,354	-185,047	-185,637	-186,235	-186,841	-187,451	-188,063
	0,5	-276,08	-278,13	-279,25	-279,90	-280,55	-281,12	-282,55
	1,0	-511,98	-515,85	-520,12	-526,85	-533,35	-540,22	-545,23
	1,5	-794,788	-799,556	-810,453	-830,612	-850,463	-856,123	-860,462
	2,0	-1080,034	-1100,236	-1122,123	-1135,185	-1145,252	-1148,22	-1173,54

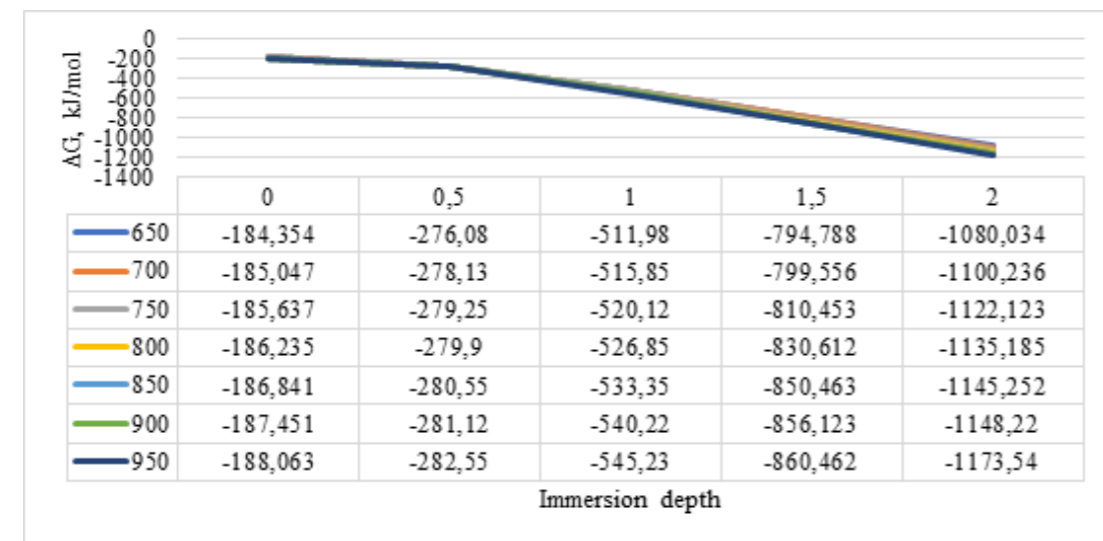


Figure 4 – Dependence of the change in the Gibbs energy for the chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$ on the temperature and depth of immersion of a sample of boron-based flux into the aluminum melt at different temperatures

At a temperature of 650 °C (Figures 4 and 5) for pressures of 102.39 kPa (at the melt surface) and 148.99 kPa (at a flux immersion depth of 2 m), the change in Gibbs energy for the chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$ is -184.354 and -1080.034 kJ/mol, respectively. For a temperature of 950 °C these values are -188.063 and -1173.54 kJ/mol.

This important observation shows that as pressure increases at constant temperature, the magnitude of the difference in changes in isobaric-isothermal potential decreases, especially noticeably at elevated temperatures. On the other hand, as the temperature decreases at constant pressure, the value of the difference in Gibbs energy changes also decreases, and this trend is more noticeable as the pressure in the system increases.

At a temperature of 650 °C (Figures 4 and 5) for the reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$, the difference in changes in the Gibbs energy when the pressure in the system increases from 102.39 kPa to 114.04 kPa is -91.726 kJ/mol, from 114.04 kPa to 125.69 kPa

-235.9 kJ/mol, from 125.69 kPa to 137.29 kPa -282.808 kJ/mol, and from 137.29 kPa to 148.99 kPa -285.246 kJ/mol. At 950 °C these Gibbs energy changes are -94.487 kJ/mol, -262.68 kJ/mol, -315.232 kJ/mol and -313.078 kJ/mol respectively.

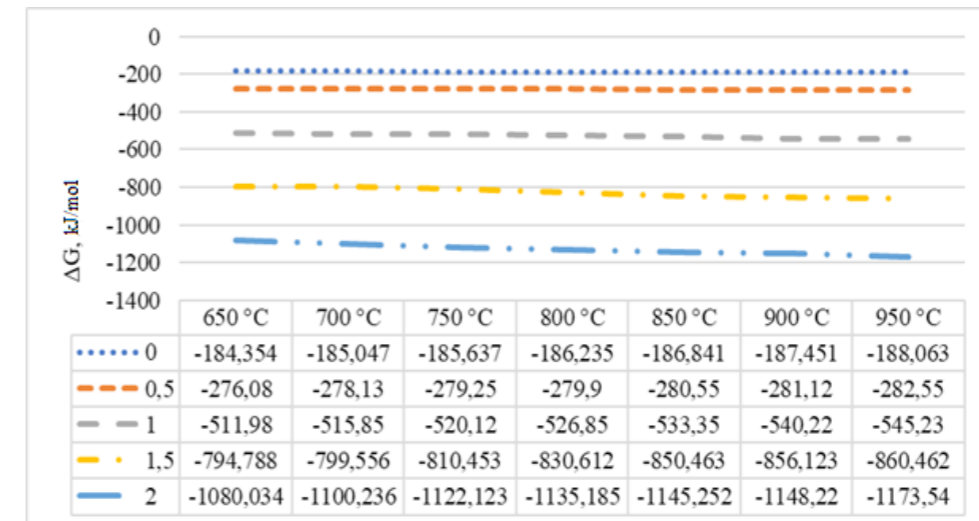


Figure 5 – Graph of the difference in changes ΔG for the chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$ on temperature with a fixed increase in the depth of immersion of a sample of boron-based flux into the aluminum melt with a change in the depth of immersion.

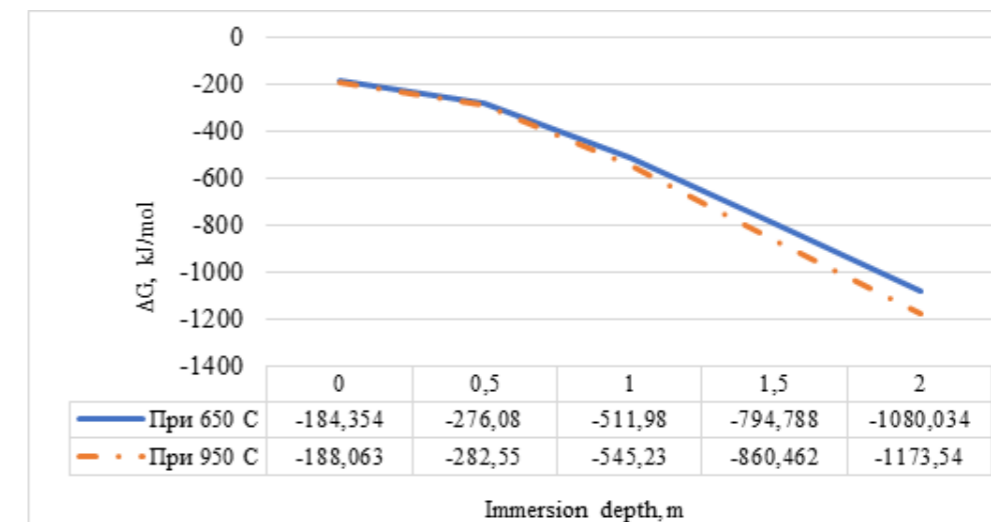


Figure 6 – Graph of the difference in changes ΔG for the chemical reaction $AlB_2 + V = VB_2 + Al$ on the depth of immersion of a sample of boron-based flux into the aluminum melt as the temperature changes

This observation emphasizes that chemical reactions between primary aluminum and impurities, including vanadium with boron with the formation of intermetallic compounds, can proceed in a certain direction in the considered range of temperatures and pressures (Figure 6).

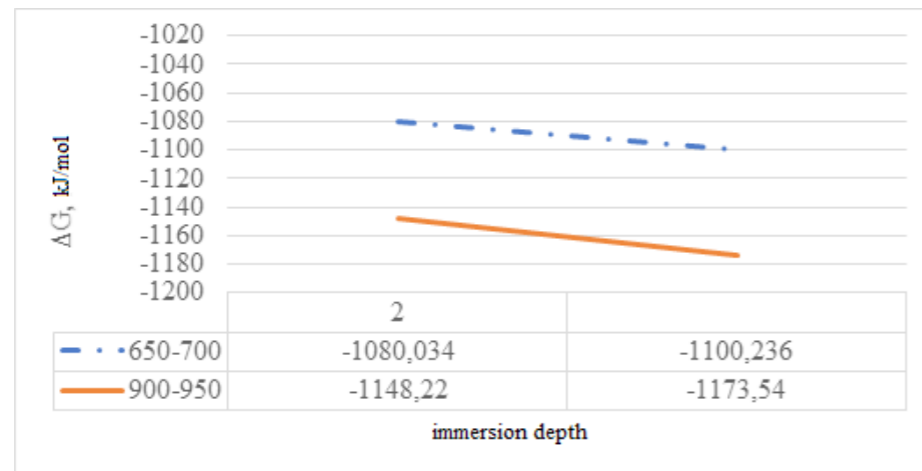


Figure 7 – Dependence of the difference in changes in the isobaric-isothermal potential of the reaction on the immersion depth of the sample

As can be seen from Figures 1 – 7, in the temperature range from 650 to 950 °C and pressures from 102.34 kPa to 149.88 kPa, vanadium boride phases are more stable compared to aluminum borides, and, therefore, they will be formed predominantly in this temperature range. The order of stability also suggests that vanadium can be easily removed from aluminum melts by adding boron.

Conclusions

Thermodynamic analysis in HSC Chemistry 9.0. in the Al-V-B system in the studied range of temperatures and pressures showed that the values of the Gibbs energy (ΔG) over the entire range of operating temperatures of the process of electrolysis and casting of primary aluminum for VB₂ are significantly lower than AlB₂, therefore, they will be formed predominantly in this temperature range. The order of stability also suggests that vanadium can be easily removed from aluminum melts by adding boron.

Funding information

The research was carried out within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the competition “Zhas Galym” under the project IRN AR19175493 «Development of technology for refining primary aluminum with filters with an active surface».

REFERENCES

1 Patent RF na izobretenie № 2084548 «Sposob ochistki aluminiya I ego splavov ot primesei tyazhelyh metallov» [Russian Federation patent for invention No. 2084548 «Method for purifying aluminum and its alloys from heavy metal impurities»] / Shpakov V. I., Razumkin V. S., Kokoulin V. G., Nizovcev E. V., Ivanov V. G., Trifonenkov L. P., Nikinin V. M. – zayivl. 12.10.1994; opubl. 20.07.1997. – 5 p.

2 Gorlanov, E. S., Batrachenko, A. A., Smailov, B. S.-A., Morozov, A. Y. Role of Vanadium in Aluminum Electrolyzer Melts // Metallurgist, 2019, Vol. 62(9-10), P. 1048–1053.

3 Gorlanov, E. S., Batrachenko, A. A., Smailov, B. S.-A., Skvortsov, A. P. Testing Baked Anodes with an Increased Vanadium Content // Metallurgist, 2018, Vol. 62(1-2), P. 62–69.

4 Gorlanov, E. S. Legirovanie katodov aluminiyevykh elektrolizerov metodom nizkotemperaturnogo sinteza diboride titana [Alloying cathodes of aluminum electrolyzers using the method of low-temperature synthesis of titanium diboride] : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. – St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2020. – 391 p.

5 Ibragimov, A. T. Aluminum electrometallurgy. Kazakhstan Electrolysis Plant [Electrometallurgy of aluminum. Kazakhstan Electrolysis Plant] / A. T. Ibragimov, R. V. Pak., Pavlodar : House of the press (2009) 263 p.

6 Troickyi, I. A., Zheleznov, V. A. Metalurgia aluminiya [Metallurgy of aluminum] – Moscow : Metallurgiya, 1984. – 400 p.

7 Banchila, S. N., Filipov, L. P. Izucheniye elektroprovodnosti metallov [Study of electrical conductivity of metals] // Thermophysics of high temperatures. – 1973. – T. 11. – № 3. – P. 668 – 671.

8 Fomin, N. E., Ivlev, V. I., Udin, V. A. Vliyeniye primesei na elektrosoprotivleniye medi I aluminiya [The influence of impurities on the electrical resistance of copper and aluminum] // Bulletin of the Mordovian University. – 2014. – №1 – 2. – P. 50 – 57.

9 Mirzoev, F. M. Teplofizicheskie svoystva aluminiya razlichnoi stepeni chistoty I splavov systemy Al – Si [Thermophysical properties of aluminum of varying degrees of purity and alloys of the Al – Si system] : dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. – Dushanbe: Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, 2019. – 116 p.

10 Lyakishev, N. P. Diagramma sostoyaniya dvoynyh metallicheskih sistem [State diagrams of double metallic systems] : reference book : v 3 t.: T. 1 / Moscow : Mashinostroeniye, 1996. – 992 p.

11 TU na koks TOO «UPNK-PV» ST-TOO 131240008552-009-2015 [Specifications for coke LLP «UPNK-PV» ST-TOO 131240008552-009-2015].

12 TI – KEZ–017–2009 «Proizvodstvo melkoi chushki» [TI – KEZ-017-2009 “Production of small pigs”]. – Pavlodar : AO «KEZ», 2009. – 31 p.

13 Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., John, F., Grandfield, J. F. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part I. Analysis of VB₂ Formation // Metallurgical and Materials Transactions B volume 45, (2014) 752–768.

14 Khaliq, A., Brooks, G., John, F., Rhamdhani, M. A. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part II. Kinetic Analysis and Mechanism of VB₂ Formation // Metallurgical and Materials Transactions B, 2013. – P. 769–783.

15 Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part III. Analysis of Industrial Boron Treatment Practice // Metallurgical and Materials Transactions B, (2013), P. 769–783.

16 Sletova, N. V., Chaikin, V. A. Tehnologija rafinirovaniya I modifitsirovaniya aluminiyevykh splavov s primeneniem ekologicheskii chistykh preparatov, obespechivauschiih stabilnye pokazateli kachestva otlivok [Technology of refining and modifying aluminum alloys using environmentally friendly preparations that provide stable quality indicators for castings] : monograph. – Moscow : MGOU, 2013. – 230 p.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Патент РФ на изобретение № 2084548 «Способ очистки алюминия и его сплавов от примесей тяжелых металлов». / Шпаков В.И., Разумкин В. С., Кокоулин В. Г., Низовцев Е. В., Иванов В. Г., Трифоненков Л. П., Никитин В. М. – заявл. 12.10.1994; опубл. 20.07.1997. – 5 с.

2 Gorlanov, E. S., Batrachenko, A. A., Smailov, B. S.-A., Morozov, A. Y. Role of Vanadium in Aluminum Electrolyzer Melts // Metallurgist, 2019, Vol. 62(9-10), P. 1048–1053.

3 Gorlanov, E. S., Batrachenko, A. A., Smailov, B. S.-A., Skvortsov, A. P. Testing Baked Anodes with an Increased Vanadium Content // Metallurgist, 2018, Vol. 62(1-2), P. 62–69.

4 Горланов, Е. С. Легирование катодов алюминиевых электролизеров методом низкотемпературного синтеза диборида титана : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Санкт-Петербург : СПбГУ, 2020. – 391 с.

5 Ибрагимов, А. Т. Электрометаллургия алюминия. Казахстанский электролизный завод / А. Т. Ибрагимов, Р. В. Пак. – Павлодар : Дом печати, 2009. – 263 с.

6 Троицкий, И. А., Железнов, В. А. Metallurgiya aluminia. – М. : Metallurgiya, 1984. – 400 с.

7 Банчила, С. Н., Филиппов, Л. П. Изучение электропроводности металлов // Теплофизика высоких температур. – 1973. – Т. 11. – № 3. – С. 668 – 671.

8 Фомин, Н. Е., Ивлев, В. И., Юдин, В. А. Влияние примесей на электросопротивление меди и алюминия // Вестник Мордовского университета. – 2014. – №1 – 2. – С. 50 – 57.

9 Мирзоев, Ф. М. Теплофизические свойства алюминия различной степени чистоты и сплавов системы Al – Si : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Душанбе : Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, 2019. – 116 с.

10 Лякишев, Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник : В 3 т.: Т. 1 / М. : Машиностроение, 1996. – 992 с.

11 ТУ на кокс ТОО «УПНК-ПВ» СТ-ТОО 131240008552-009-2015.

12 ТИ – КЭЗ–017–2009 «Производство мелкой чушки». – Павлодар : АО «КЭЗ», 2009. – 31 с.

13 Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., John, F., Grandfield, J. F. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part I. Analysis of VB2 Formation // Metallurgical and Materials Transactions B volume 45, (2014) 752–768.

14 Khaliq, A., Brooks, G., John, F., Rhamdhani, M. A. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part II. Kinetic Analysis and Mechanism of VB2 Formation // Metallurgical and Materials Transactions B, (2013) 769-783.

15 Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G. A., Grandfield, J. F. Removal of Vanadium from Molten Aluminum – Part III. Analysis of Industrial Boron Treatment Practice // Metallurgical and Materials Transactions B, (2013), P. 769–783.

16 Слетова, Н. В., Чайкин, В. А. Технология рафинирования и модифицирования алюминиевых сплавов с применением экологически чистых препаратов, обеспечивающих стабильные показатели качества отливок : монография. – М. : МГОУ, 2013. – 230 с.

Received 12.05.2024.

Received in revised form 13.05.2024.

Accepted for publication 11.06.2024.

П. О. Быков¹, А. Б. Куандыков¹, В. А. Чайкин²,
М. М. Сүйіндіков¹, А. К. Жунусов³

¹Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Ресей құюшылар қауымдастығының Смоленск аймақтық филиалы,

Ресей Федерациясы, Сафоново қ.

12.05.2024 ж. баспаға түсті.

13.05.2024 ж. түзетулерімен түсті.

11.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ШЕЛЕКТЕГІ БАСТАПҚЫ АЛЮМИНИЙДІ АҒЫНМЕН
ТАЗАРТУДЫ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Бұл мақалада шелектегі бор қышқылымен бастапқы алюминийді өңдеу процесіне термодинамикалық талдау жасалды. Есептеу үшін Outotec Technologies компаниясының HSC Chemistry 9.0 бағдарламалық құралы пайдаланылды. Есептеулерде зерттелетін температура диапазоны 650–950 °C шегінде «Қазақстандық электролиз зауыты» АҚ өндірістік шарттарына сәйкес келді. Қысым диапазоны жұмыс биіктігі 2 м үлестірмелі шелектегі алюминийді ағынмен өңдеудің технологиялық жағдайлары негізінде қабылданды және 101,33–148,99 кПа аралығында болды. Қатты фазаның болуы және процестердің төмен кинетикасы көрсетілген температура диапазонының төменгі шегімен сипатталады. Электролиздегі нақты жұмыс жағдайларына ең жақын температура шегі көрсетіледі. Металл айнасындағы қысым қысым диапазонындағы төменгі шек болып көрінеді, жоғарғы жағы 2 м эквивалентті ағынның батыру тереңдігіндегі қысым болып табылады. Есептеулердегі суспензияның батыру тереңдігі 0,5–2 м диапазонында өзгерді.

Зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Жас ғалым» конкурсы бойынша ЖРН АР19175493 «белсенді беті бар сүзгілермен бастапқы алюминийді тазарту технологиясын әзірлеу» жобасы бойынша гранттық қаржыландыру шеңберінде жүргізілді.

Зерттелген температура мен қысым диапазонындағы термодинамикалық талдау ванадий боридінің фазалары алюминий боридтерімен салыстырғанда тұрақтырақ екенін анық көрсетеді, сондықтан олар негізінен берілген температура диапазонында түзіледі. Тұрақтылық тәртібі сонымен қатар ванадийді бор қосу арқылы алюминий балқымаларынан оңай алып тастауға болатындығын көрсетеді.

Кілтті сөздер: алюминий, термодинамикалық модельдеу, ағын, бор қышқылы, тазарту.

П. О. Быков¹, А. Б. Қуандықов¹, В. А. Чайкин², М. М. Суюндиков¹, А. К. Жунусов³

¹Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Смоленское региональное отделение Российской ассоциации литейщиков, Российская Федерация, г. Сафоново

Поступило в редакцию 12.05.2024.

Поступило с исправлениями 13.05.2024.

Принято в печать 11.06.2024.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФЛЮСОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ В КОВШЕ

В данной статье проведен термодинамический анализ процесса обработки первичного алюминия борной кислотой в ковше. Для расчетов использовалось программное обеспечение HSC Chemistry 9.0 компании Outotec Technologies. В расчетах исследуемый температурный диапазон соответствовал производственным условиям АО «Казахстанский электролизный завод» в пределах 650–950 °С. Диапазон давлений принимался исходя из технологических условий флюсовой обработки алюминия в раздаточном ковше с рабочей высотой 2 м и находился в пределах 101,33–148,99 кПа. Наличие твердой фазы и низкая кинетика процессов характеризуется нижним пределом указанного диапазона температур. Наиболее приближенным к реальным рабочим условиям при электролизе демонстрирует верхний предел температур. Давление у зеркала металла представляется нижним пределом в диапазоне давлений, верхним представлено давление на глубине погружения флюса эквивалентного 2 м. Глубина погружения навески в расчетах варьировалась в диапазоне 0,5–2 м.

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по конкурсу «Жас Галым» по проекту ИРН АР19175493 «Разработка технологии рафинирования первичного алюминия фильтрами с активной поверхностью».

Термодинамический анализ в исследованном диапазоне температур и давлений однозначно свидетельствует о том, что фазы борид ванадия более стабильны по сравнению с боридами алюминия, и, следовательно, они будут образовываться преимущественно в данном температурном диапазоне. Порядок стабильности также предполагает, что ванадий может быть легко удален из расплавов алюминия путем добавления бора.

Ключевые слова: алюминий, термодинамическое моделирование, флюс, борная кислота, рафинирование.

МРНТИ 53.37.91

Г. М. Койшина, * Е. Е. Жолдасбай, Е. Б. Тажиев, Г. С. Даруеш, Н. К. Досмухамедов

Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

*e-mail: zhte@mail.ru

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИНКА И СВИНЦА МЕЖДУ ПРОДУКТАМИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ КЛИНКЕРА С ХЛОРИДОМ КАЛЬЦИЯ

Приведены результаты лабораторных опыты по исследованию влияния температуры, расхода восстановителя и продолжительности процесса на распределение цинка и свинца между продуктами высокотемпературного спекания клинкера совместно с хлоридом кальция. Установлено, что при температурах выше 700 °С содержание цинка в клинкере резко снижается. Минимальное содержание цинка в клинкере 0,85% достигнуто при температуре 900 °С. Повышение температуры до 1000 °С лишь незначительно снижает содержание цинка в клинкере (до 0,77 %).

Повышение расхода CaCl₂ с 1,0 до 1,3 раза превышающего его расход от СНК, увеличивает содержание цинка в возгонах с 36,23 % до 40,85 %. Дальнейший рост расхода CaCl₂ на содержание цинка в возгонах влияет незначительно.

Установлены оптимальные параметры высокотемпературного спекания клинкера совместно с хлоридом кальция: T=900 °С, t=60 минут, расход CaCl₂ в 1,3 раза превышающий его расход от СНК. Получены цинковые возгоны высокого качества, % масс.: 40,87 Zn; 0,16 Pb; прочие. Извлечение цинка в возгоны – 99,3 %. Наличие минимального содержания свинца в возгонах на их качество существенного влияния не окажет.

Полученные результаты составляют основу заключительной стадии хлорирующей технологии переработки свинецсодержащей цинковой пыли черной металлургии и использованы при построении общей технологии для селективного извлечения цинка и свинца в товарные продукты.

Ключевые слова: пыль, клинкер, хлорид кальция, цинк, свинец, извлечение, температура.

Введение

На предприятиях черной металлургии при производстве одной тонны выплавляемой стали в среднем образуются около 25–30 кг пыли, которые характеризуются сложным химическим и фазовым составом. Особое внимание привлекает высокое содержание в них свинца. По данным научной литературы, содержание свинца в пыли может варьироваться в широких пределах и может достигать до 6 % [1, 2]. В этой связи изыскание новых подходов и решений, обеспечивающих эффективную комплексную переработку пыли с высоким

извлечением цинка и свинца в целевые товарные продукты представляется весьма актуальным и важным.

Для переработки сложного по составу пыли, получаемых на предприятиях черной металлургии Казахстана, особую трудность представляет селективное извлечение свинца и цинка в целевые продукты. Из существующих методов переработки пыли около 90 % всех мощностей относится к пирометаллургическим способам [3]. Наиболее распространённым процессом для переработки цинксодержащей пыли является экологически грязный и не совсем эффективный с точки зрения технологии, вельц-процесс. Несмотря на то, что процесс широко распространён за рубежом, основной его недостаток – большой расход восстановителя и коррозия футеровки печей [4], вызывает необходимость проведения дополнительных исследований по разработке новых высокоэффективных и экологически чистых технологий переработки цинксодержащей пыли.

К одним из распространённых методов переработки цинковой пыли является агломерация, с последующим возвратом агломерата в доменное производство. Выбор подхода обоснован низкой себестоимостью переработки пыли [5]. К основным недостаткам метода относится невозможность вывода цинка из процесса, что приводит к его накоплению в технологической схеме. Применение метода целесообразно для пыли с низкой концентрацией цинка. При этом ценные компоненты не извлекаются, а размазываясь между продуктами теряются.

Широкое распространение на практике получили гидрометаллургические способы переработки пыли, которые по сравнению с пирометаллургическими обеспечивают высокую селективность по извлечению металлов и возможность регулирования технологическими параметрами процесса. Это позволяет перерабатывать пыли различного состава. Кислотные методы широко применяемые для извлечения цинка обеспечивают высокое его извлечение в целевой продукт. Использование технологии для извлечения цинка из растворов путем электролиза требует высокой степени очистки раствора и больших дополнительных затрат [6]. В гидрометаллургических способах извлечения цинка использование серной кислоты предпочтительней, ввиду ее дешевой стоимости, относительной экологичности, что обеспечивает большую степень извлечения цинка, чем соляная и азотная [7, 8].

Для гидрометаллургических процессов основным недостатком является присутствие значительного количества примесей, которые оказывают существенное влияние в сторону повышения затрат и снижение ценных металлов. Так, в частности, присутствие солей железа в получаемых растворах снижает извлечение цинка и других ценных металлов в товарные продукты по всей цепочке технологической схемы. Одним из перспективных пирометаллургических методов является извлечение цинка из сложного вторичного сырья с использованием технологии хлорирования цинка соляной кислотой [9]. Однако, с практической точки зрения использование в качестве реагента HCl является опасным и вредным. В этой связи изыскание способов хлорирующего спекания

цинковой пыли с использованием более дешевых и безопасных реагентов, таких как CaCl_2 , представляется актуальным и перспективным.

Цель данной работы – исследование поведения цинка и свинца при высокотемпературном спекании клинкера совместно с хлоридом кальция и установление оптимальных технологических параметров процесса. В процессе проведенных исследований изучено влияние температуры и расхода хлорида кальция на распределение цинка и свинца между продуктами высокотемпературного спекания.

Материал и методы исследования

В качестве исходного материала использован клинкер, полученный в результате низкотемпературного спекания пыли от переработки черного лома в электродуговой печи ТОО «Казферросталь», состава, % масс.: 49,46 Zn; 0,22 Pb; 18,97 Fe; 6,69 SiO_2 ; 4,9 CaO; 18,67 O; прочие.

Спекание проводили в горизонтальной электропечи Nabertherm 50/250/12 с терморегулируемым контроллером В410. В качестве контейнера для загрузки исходных материалов использованы алундовые лодочки (120×60×20 мм).

Исследование влияния расхода CaCl_2 и температуры на извлечение цинка из клинкера, полученного после спекания немагнитной фракции пыли совместно с хлоридом аммония, проводили с использованием лабораторной установки, подробно изложенной в работе [10].

Методика проведения опытов заключалась в следующем. Клинкер, полученный после низкотемпературного обжига немагнитной фракции пыли, смешивали с заданным расходом хлорида кальция в различных массовых соотношениях. Расход CaCl_2 задавали из расчета от 1,0 до 1,5 раза (доли от СНК) превышающий его стехиометрическое необходимое количество (СНК) для восстановления оксида цинка с образованием его хлорида.

Температурный интервал опытов – 873-1273 К (600-1000 °С).

Количество исходной навески клинкера во всех опытах было постоянным и составляло 100 г. Смесь клинкера с заданным расходом CaCl_2 выдерживали при постоянной температуре в инертной атмосфере аргона, который подавали в реакционную зону печи со скоростью 100 мл/мин. Расход аргона контролировали с помощью ротаметра РМ-ГС 004 КЛ4.

Продолжительность обжига во всех опытах была постоянной и составляла 60 минут. Отходящие газы поглощались в специальном сосуде с известковым молоком. По истечении необходимого времени обжига печь выключали и охлаждали в потоке аргона. После остывания печи лодочку с содержимым клинкера изымали, взвешивали и подвергали анализу на содержание в нем цинка, свинца и железа.

Каждый опыт при заданной температуре и расходе CaCl_2 повторяли три раза с целью получения достоверных результатов. За конечный результат принимали усредненное значение.

Количество возгонов определяли по разнице исходной навески и полученного клинкера с учетом содержания в них свинца, цинка и железа.

По результатам экспериментальных опытов рассчитывали извлечение цинка и свинца в продукты спекания с проведением сравнительного анализа данных.

Результаты опытов и их обсуждение

Исследование влияния температуры на извлечение цинка и свинца из клинкера

Результаты опытов по изучению влияния температуры на остаточное содержание цинка и свинца в клинкере, полученные при постоянном времени спекания, $t=60$ минут и расходе CaCl_2 в 1,3 раза превышающем стехиометрическое необходимое его количество (СНК) для восстановления оксида цинка до его хлорида, показаны на рис.1. Избыток хлорида кальция выбран с учетом его разложения до оксида и образования газообразного хлора в присутствии кислорода в системе.

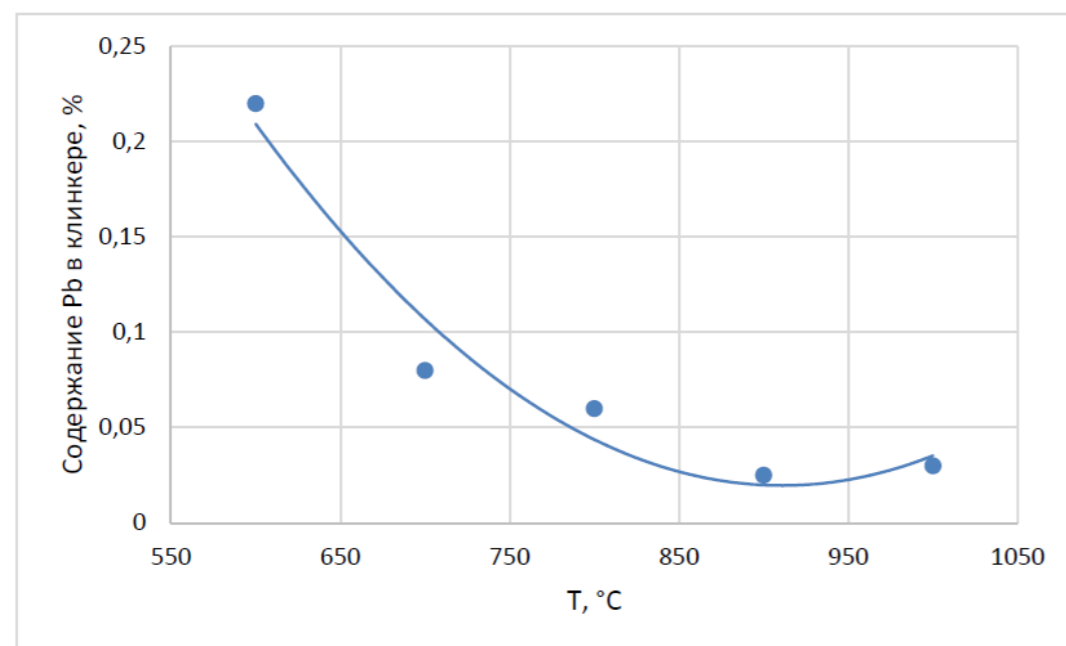


Рисунок 1 – Зависимость содержания цинка и свинца в клинкере от температуры

На рис.1 видно, что в интервале температур 600–700 °C наблюдается монотонное снижение содержания цинка в клинкере с 49,46% до ~30%. В рассматриваемом отрезке температур можно предположить о начале образования хлорида цинка за счет взаимодействия оксида цинка с хлоридом кальция с незначительным переходом цинка в возгоны в виде хлорида. Данное явление хорошо согласуется с теорией процесса разложения хлорида кальция в присутствии кислорода по реакции: $2\text{CaCl}_2 + \text{O}_2 = 2\text{CaO} + 2\text{Cl}_2$. Образующийся активный газообразный хлор, вступая во взаимодействие с оксидом цинка, восстанавливает его до хлорида цинка. В области температур 600–700 °C упругость диссоциации образующегося хлорида цинка не велика, тем не менее, можно ожидать незначительной его возгонки. По достижении точки кипения

хлорида цинка (732 °C) и выше, следует ожидать, как интенсификации процесса разложения хлорида кальция, так и образования газообразного хлорида цинка за счет взаимодействия хлора с оксидом цинка. Образующийся при этом хлорид цинка, обладает высокой упругостью пара, что ведет к резкому его переходу в возгоны. Это наблюдается на рис.1: при температурах выше 700 °C содержание цинка в клинкере резко снижается с ~30% и доходит до 8% при температуре 800 °C.

Минимальное содержание цинка в клинкере равное 0,85% достигнуто при температуре 900 °C. Дальнейший рост температуры до 1000 °C ведет лишь к незначительному снижению содержания цинка в клинкере до 0,77%. Это свидетельствует о том, что в условиях высокотемпературного спекания в интервале температур 700–900 °C процесс разложения хлорида кальция с образованием газообразного хлора завершается практически полностью, что обеспечивает полное восстановление оксида цинка до хлорида и максимальную возгонку цинка в виде его хлорида из клинкера.

В исследованном интервале температур установлено снижение содержания свинца в клинкере (рис.1). При этом, учитывая незначительное содержание свинца в исходном материале (0,2 %) можно утверждать, что количество выделяющегося свинца в виде его хлорида в возгоны, существенного влияния на качество получаемых цинковых возгонов не окажет. Это нетрудно видеть на рис.2, где показана динамика изменения содержания цинка и свинца в возгонах от температуры.

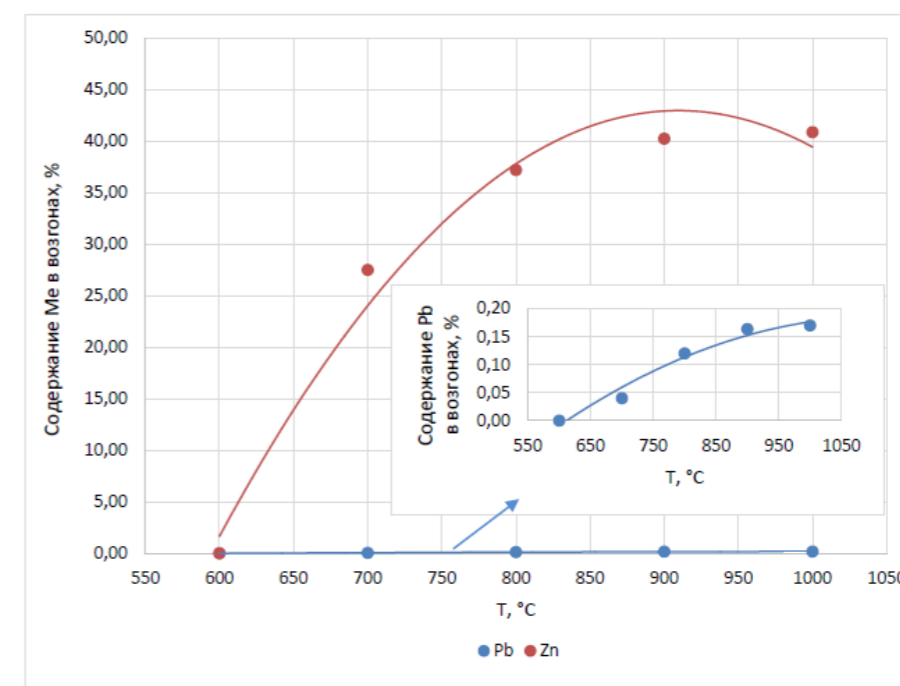


Рисунок 2 – Зависимость содержания цинка и свинца в возгонах от температуры

Максимальное содержание цинка в возгонах равно 40,25 % достигнуто при температуре 900 °С. Дальнейшее увеличение температуры до 1000 °С лишь незначительно, до 40,88 %, повышает содержание цинка в возгонах, однако при этом наблюдаются участки оплавления клинкера. Как видно на рис.2 при температуре 900°С, обеспечивающей максимальное содержание цинка в возгонах (40,25 %), содержание свинца составляет всего лишь 0,16 %, которой можно практически пренебречь.

Полученные результаты показывают, что для условий высокотемпературного спекания клинкера хлоридом кальция наиболее приемлемой (оптимальной) температурой является 900 °С. С другой стороны, наиболее значимым технологическим параметром технологии является расход хлорида кальция, определение оптимального расхода которого во многом влияет не только на технологические показатели технологии, но и экономические. С целью уточнения оптимального расхода хлорида кальция были проведены опыты по спеканию клинкера с различным расходом CaCl_2 при постоянной температуре 900 °С и времени, $t=60$ минут.

Исследование влияния расхода CaCl_2 на извлечение цинка и свинца из клинкера

Изменение содержания цинка и свинца в клинкере в зависимости от расхода хлорида кальция показана на рис.3.

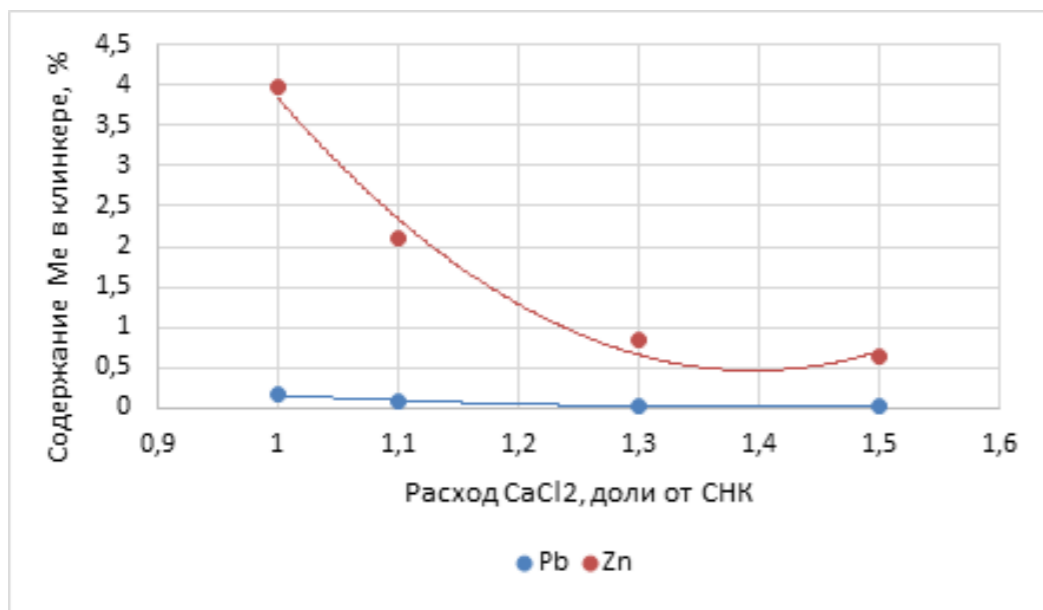


Рисунок 3 – Зависимость изменения содержания Zn и Pb в клинкере от расхода хлорида кальция

Установлено, что содержание цинка в клинкере резко снижается при повышении расхода хлорида кальция от 1,0 до 1,3 раза превышающего его стехиометрическое необходимое количество (СНК) для восстановления оксида цинка до хлорида. В рассматриваемом интервале содержание цинка в клинкере падает с ~4% до 0,85 %. Дальнейший рост СНК существенного влияния на снижение содержания цинка в клинкере не оказывает: при расходе CaCl_2 в 1,5 раза превышающий его расход от СНК, содержание цинка в клинкере составляет 0,78 %. Полученный результат указывает, что выбор оптимального расхода CaCl_2 равного в 1,3 раза превышающий его расход от СНК, является вполне обоснованным. Дальнейший рост расхода хлорида кальция экономически нецелесообразен.

Как отмечалось выше, незначительное изменение содержания свинца в сторону его снижения в клинкере в зависимости от расхода CaCl_2 существенного влияния на технологические показатели технологии не окажет.

Установленные закономерности определяют получаемый в процессе спекания состав возгонов. На рис.4 приведены расчетные значения формирования состава возгонов, полученных при различном расходе CaCl_2 .

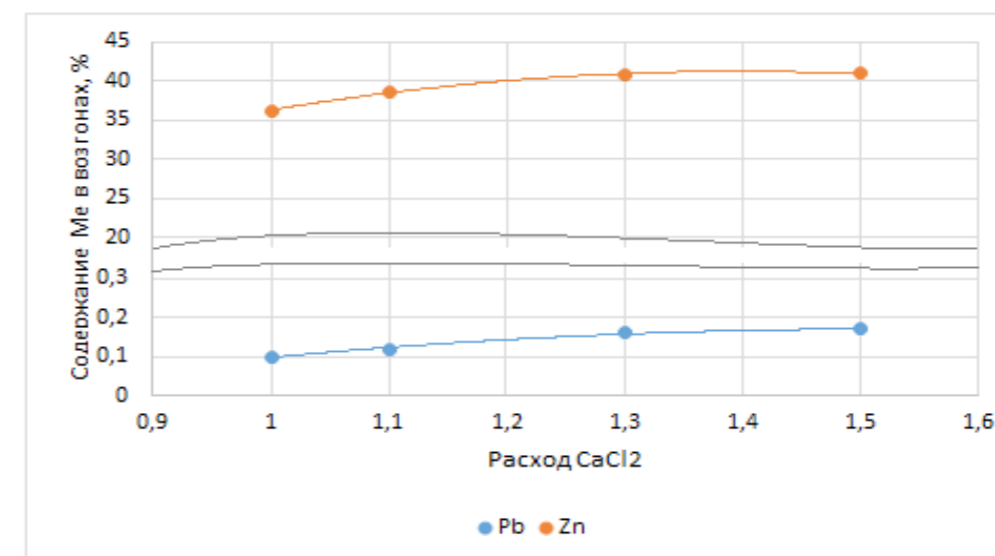


Рисунок 4 – Зависимость содержания цинка и свинца в возгонах от расхода хлорида кальция: $T=900$ °С, $t=60$ минут

Как видно на рис.4 содержание цинка в возгонах повышается с увеличением расхода CaCl_2 . В интервале роста расхода CaCl_2 с 1,0 до 1,3 раза превышающего его расход от СНК, содержание цинка в возгонах увеличивается с 36,23% до 40,87 %. Дальнейший рост CaCl_2 до значения 1,5 раза превышающий его расход от СНК, лишь незначительно до 41,3 % повышает содержание цинка в возгонах.

На основании полученных результатов рассчитаны значения извлечения цинка и свинца в продукты спекания. Зависимость извлечения цинка и свинца в продукты спекания от расхода CaCl_2 показана на рис.5.

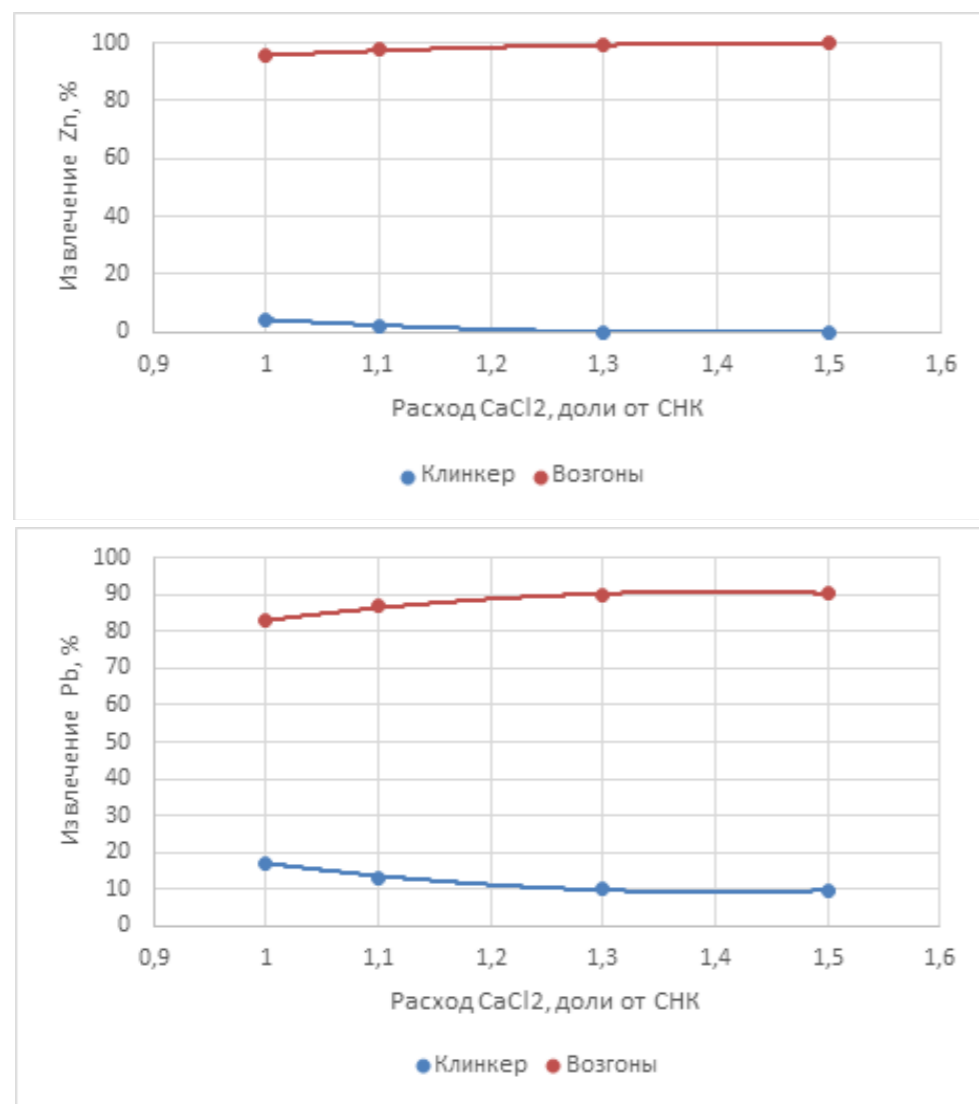


Рисунок 5 – Зависимость извлечения Zn и Pb в продукты спекания от расхода хлорида кальция

Наилучшие результаты по извлечению цинка в возгоны достигнуто при расходе CaCl₂ в 1,3 раза превышающем его расход от СНК, которое составило 99,3 %. При этом, хотя и установлено высокое извлечение свинца в возгоны (90 %), значительная его часть концентрируется в клинкере. При расходе CaCl₂ =1,3 от СНК, извлечение свинца в клинкер составляет ~10%. Установленные данные показывают преимущественное удаление цинка из клинкера и получение возгонов хлорида цинка высокого качества.

Таким образом, на основании проведенных лабораторных опытов определены оптимальные технологические параметры высокотемпературного спекания клинкера, обеспечивающие получение чистых цинковых возгонов с минимальным

содержанием свинца. При оптимальных параметрах процесса: T=900 °C, t=60 минут, расход CaCl₂ в 1,3 раза превышающий его расход от СНК, достигнуто получение цинковых возгонов высокого качества, % масс.: 40,87 Zn; 0,16 Pb; прочие. Извлечение цинка в возгоны – 99,3 %.

Выводы

На основании проведенных опытов установлены оптимальные параметры процесса высокотемпературного спекания клинкера совместно с хлоридом кальция: T=900 °C, t=60 минут, расход CaCl₂ в 1,3 раза превышающий его расход от СНК. Показано, что при оптимальных параметрах достигается высокое, более 99 %, извлечение цинка в возгоны в виде его хлорида. Получены цинковые возгоны с высоким, более 40 %, содержанием цинка. При этом содержание свинца в возгонах минимальное и составляет 0,16 %, которое на качество получаемых цинковых возгонов существенного влияния не оказывает.

Полученные положительные результаты проведенных исследований позволяют сформулировать новую концепцию технологии двухстадийной переработки пыли черной металлургии. Согласно технологии предлагается на первой стадии путем низкотемпературного спекания пыли совместно с хлоридом аммония селективно извлекать свинец в возгоны в виде его хлорида, и на второй стадии – из полученного клинкера получать цинковые возгоны (хлорид цинка) высокого качества.

Использование хлорирующей технологии для переработки пыли черной металлургии значительно повысит технолого-экологические показатели основного производства стали и ферросплавов за счет вовлечения на переработку как текущие, так и накопленные в больших объемах пыли с получением дополнительных товарных продуктов – свинцовых и цинковых возгонов высокого качества.

Источник финансирования. Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 годы по приоритетному направлению «Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология» проекта AP19679572 «Разработка новой технологии утилизации цинковой пыли сталеплавильных производств с получением товарных продуктов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Топоркова, Ю. И., Блудова, Д., Мамяченков, С. В., Анисимова, О. С.** Обзор методов переработки пылей электродуговой плавки // *iPolytech journal*. 2021. – Т.25, № 5. – С. 643–680.

2 **Стовпченко, А. П., Камкина, Л. В., Пройдак, Ю. С., Деревянченко, И. В., Кучеренко, О. Л., Бондаренко, М. Ю.** Теоретические и экспериментальные исследования состава и восстановимости пыли дуговых сталеплавильных печей // *Электрметаллургия*. – 2009. – № 8. – С. 29–36.

3 **Зайцев, А. К., Похвиснев, Ю. В.** Экология и ресурсосбережение в черной металлургии // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 3. – С. 52–58.

4 **Kozlov, P. A., Povysheva, E. V., Zolkina, A. V., Vorobiev, A. G.** Modern situation and perspectives of waelz-process usage for zinc extraction from dust of electric arc furnaces // Цветные металлы. – 2009. – № 7. – С. 36–40.

5 **Ковалев, В. Н.** Технология комплексной переработки цинксодержащей пыли и шлама с получением металлического черного цинка и железа // Сталь. 2013. – № 2. – С. 72–76.

6 **Оустадакис П., Тсакиридис, П. Е., Катслапи, А., Агатзини-Леонардоу, С.** Гидрометаллургический процесс извлечения цинка из пыли электродуговой печи (ПЭДП), Часть 1: Характеристика и выщелачивание разбавленной серной кислотой. Журнал опасных материалов. – 2010. – № 179. – С. 5–8.

7 **Halli P., Hamuyuni J., Leikola M., Lundström M.** Developing a sustainable solution for recycling electric arc furnace dust via organic acid leaching // Minerals Engineering. – 2018. – Vol. 124. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.05.011>.

8 **Йан, В., Стефан, Я., Мичал, Л.** Извлечение цинка из отходов производства железа и стали традиционным выщелачиванием и с применением микроволнового излучения // АстаМонтанистисаСловаса. – 2011. – № 16. – С. 185–191.

9 **Камил, В., Ян, С., Яна, В.** Отгонка цинка из сталеплавильной пыли. Операции химических технологий. – 2010. – № 21. – С. 739–744.

10 **Досмухамедов, Н. К., Койшина, Г. М., Жолдасбай, Е. Е., Аргын, А. А.** Извлечение свинца при низкотемпературном обжиге пыли от плавки металлолома в электродуговой печи совместно с хлоридом аммония // CIS. 2024. № 2. В печати.

Поступило в редакцию 22.04.2024.

Поступило с исправлениями 24.04.2024.

Принято в печать 07.06.2024.

REFERENCES

1 **Toporkova, Yu. I., Bludova, D., Mamyachenkov, S. V., Anisimova, O. S.** Obzor metodov pererabotki py`lej e`lektrodugovoj plavki [Overview of methods for processing electric arc melting dusts] // iPolytech journal. – 2021. – Т. 25, № 5. – P. 643–680.

2 **Stovpchenko, A. P., Kamkina, L. V., Projdak, Yu. S., Derevyanchenko, I. V., Kucherenko, O. L., Bondarenko, M. Yu.** Teoreticheskie i e`ksperimental`ny`e issledovaniya sostava i vosstanovimosti py`li dugovy`x staleplavil`ny`x pechej [Theoretical and experimental studies of the composition and reducibility of dust of arc steelmaking furnaces] // E`lektrometallurgiya. – 2009. – № 8. – P. 29–36.

3 **Zajcev, A. K., Poxvisnev, Yu. V.** E`kologiya i resursosberezhenie v chernoj metallurgii [Ecology and resource conservation in ferrous metallurgy] // Sorosovskij obrazovatel`ny`j zhurnal. – 2001. – Т. 7. – № 3. P. 52–58.

4 **Kozlov, P. A., Povysheva, E. V., Zolkina, A. V., Vorobiev, A. G.** Modern situation and perspectives of waelz-process usage for zinc extraction from dust of

electric arc furnaces [Modern situation and perspectives of waelz-process usage for zinc extraction from dust of electric arc furnaces] // Czvetny`e metally`. – 2009. – № 7. – P. 36–40.

5 **Kovalev V. N.** Texnologiya kompleksnoj pererabotki cinksoderzhashhej py`li i shlama s polucheniem metallicheskogo chernovogo cinka i zheleza [Technology of complex processing of zinc-containing dust and sludge to produce metallic rough zinc and iron] // Stal`. – 2013. – № 2. – P. 72–76.

6 **Oustadakis, P., Tsakiridis, P. E., Katslapi, A., Agatzini-Leonardou, S.** Gidrometallurgicheskij process izvlecheniya cinka iz py`li e`lektrodugovoj pechi (PE`DP), Chast` 1: Charakteristika i vy`shhelachivanie razbavlennoj sernoj kislotoj [Hydrometallurgical process of zinc extraction from electric arc furnace dust, Part 1: Characterization and leaching with dilute sulfuric acid] // Zhurnal opasny`x materialov. – 2010. – № 179. – P. 5–8.

7 **Halli, P., Hamuyuni, J., Leikola, M., Lundström, M.** Developing a sustainable solution for recycling electric arc furnace dust via organic acid leaching // Minerals Engineering. – 2018. – Vol. 124. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.05.011>.

8 **Jan, V., Stefan, Ya., Michal, L.** Izvlechenie cinka iz otkodov proizvodstva zheleza i stali tradicionny`m vy`shhelachivaniem i s primeneniem mikrovolnovogo izlucheniya [Extraction of zinc from waste products of iron and steel production by traditional leaching and using microwave radiation] // ActaMontanisticaSlovaca. – 2011. – № 16. – P. 185–191.

9 **Kamil, V., Yan, S., Yana, V.** Otgonka cinka iz staleplavil`noj py`li [Zinc distillation from steelmaking dust] // Operacii ximicheskix texnologij. – 2010. – № 21. P. 739–744.

10 **Dosmuxamedov, N. K., Kojshina, G. M., Zholdasbai, E. E., Argy`n, A. A.** Izvlechenie svincza pri nizkotemperaturnom obzhige py`li ot plavki metalloloma v e`lektrodugovoj pechi sovместno s xloridom ammoniya [Extraction of lead during low-temperature firing of dust from melting scrap metal in an electric arc furnace together with ammonium chloride] // CIS. – 2024. – № 2. V pechati.

*Г. М. Койшина, *Е. Е. Жолдасбай, Е. Б. Тажиев,*

Г. С. Даруеш, Н. К. Досмухамедов

Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

22.04.2024 ж. баспаға түсті.

24.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

07.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

КЛИНКЕРДІ КАЛЬЦИЙ ХЛОРИДІМЕН ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ КҮЙДІРУ КЕЗІНДЕ МЫРЫШ ПЕН ҚОРҒАСЫННЫҢ ӨНІМДЕР АРАСЫНДА БӨЛІНІП ТАРАЛУЫ

*Кальций хлоридімен бірге клинкердің жоғары температуралы
күйдіру өнімдері арасында мырыш пен қорғасынның бөлініп таралуына*

температураның, тотықсыздандырғыш шығынының және процес ұзақтығының әсерін зерттеу бойынша зертханалық нәтижелер келтірілген. 700 °C-тан жоғары температурада клинкердегі мырыш мөлшері күрт төмендейтіні анықталды. Клинкердегі мырыштың минималды мөлшері 0,85% 900 °C температурада қол жеткізілді. Температураны 1000 °C-қа дейін көтергенде клинкердегі мырыштың мөлшерін аздап төмендейді (0,77% дейін).

CaCl₂ шығынын СҚМ шығынынан 1,0-ден 1,3 есеге дейін арттырғанда ұшқындарда мырыш мөлшері 36,23%-дан 40,85%-ға дейін артады. CaCl₂ шығыны одан әрі өсуі ұшқындардағы мырыш мөлшеріне аздап әсер етеді.

Клинкерді кальций хлоридімен бірге жоғары температуралы күйдіру процесінің оңтайлы параметрлері орнатылды: T=900 °C, t=60 минут, CaCl₂ шығыны оның СҚМ шығынынан 1,3 есе көп. Жоғары сапалы мырыш ұшқындары алынды, % масс.: 40,87 Zn; 0,16 Pb; басқалар. Мырышты ұшқынға бөліп алу – 99,3 %. Ұшқындарда қорғасынның минималды мөлшерінің болуы олардың сапасына айтарлықтай әсер етпейді.

Алынған нәтижелер қара металлургияның құрамында қорғасын бар мырыш шаңын өңдеудің хлорлау технологиясының соңғы кезеңінің негізін құрайды және мырыш пен қорғасынды тауарлық өнімдерге селективті бөліп алу үшін жалпы технологияны құруда қолданылады.

Кілтті сөздер: шаң, клинкер, кальций хлориді, мырыш, қорғасын, бөліп алу, температура.

G. M. Koishina, * E. E. Zholdasbay, E. B. Tazhiev,

G. S. Daruesh, N. K. Dosmukhamedov

Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 22.04.2024.

Received in revised form 24.04.2024.

Accepted for publication 07.06.2024.

DISTRIBUTION OF ZINC AND LEAD BETWEEN PRODUCTS OF HIGH-TEMPERATURE BURNING OF CLINKER WITH CALCIUM CHLORIDE

The results of laboratory experiments on the influence of temperature, reducing agent consumption and process duration on the distribution of zinc and lead between products of high-temperature burning of clinker together with calcium chloride are presented. It was found that at temperatures above 700 °C, the zinc content in the clinker decreases sharply. The minimum zinc content in the clinker is 0.85 % achieved at a temperature of 900 °C. An increase in temperature to 1000 °C only slightly reduces the zinc content in the clinker (up to 0.77 %).

An increase in the consumption of CaCl₂ from 1.0 to 1.3 times higher than its consumption from the SRQ increases the zinc content in the distillates from 36.23 % to 40.85 %. A further increase in the consumption of CaCl₂ has little effect on the zinc content in the sublimations.

The optimal parameters of high-temperature burning of clinker together with calcium chloride have been established: T = 900 °C, t = 60 minutes, the consumption of CaCl₂ is 1.3 times higher than its consumption from SRQ. High quality zinc

sublimates were obtained, % by weight: 40.87 Zn; 0.16 Pb; others. The extraction of zinc into the distillates is 99.3 %. The presence of a minimum lead content in the distillates will not significantly affect their quality.

The results obtained form the basis of the final stage of the chlorinating technology for processing lead-containing zinc dust of ferrous metallurgy and are used in the construction of a common technology for the selective extraction of zinc and lead into commercial products.

Keywords: dust, clinker, calcium chloride, zinc, lead, extraction, temperature.

* **В. Ю. Куликов, Ш. С. Байбеков, Ж. Д. Жолдубаева**

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru

ВАРИАТИВТІ ҚЫСЫМДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ҚАБЫҚ ПІШІНДЕРІНІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АРТТЫРУ

Құю сапасын анықтайтын маңызды технологиялық процесстердің бірі – құю қалыптарын жасау. Мақалада құм-шайырлы қалып (ары қарай – ҚШҚ) арқылы жоғары сапалы құймаларды алу мәселесінің қазіргі жағдайына талдау жасалынады. ҚШҚ арқылы минималды пайызбен сапалы құймалар жасауға мүмкіндік беретіні анықталды, бірақ мұндай құю қалыптарының кемшілігі байланыстырғыштың жоғары құны – терморективті шайыр пульвербакелит. Негізгі бағыттардың бірі қалыптың құнын төмендету үшін байланыстырғыш құрамын азайту арқылы анықталыны, демек, тұтастай алғанда құю қалыптау процесінде қысымды қолдану арқылы төмендетуге болатыны анықталды. Зерттеулер ҚШҚ құрамындағы байланыстырғыштың құрамын азайтуға мүмкіндік беретін вариативтік қысымды қолдану жағдайында технологиялық режимдерді пысықтауға бағытталған. Осыған байланысты қалыптарының қасиеттерін және олардың бүкіл көлемде біркелкілігін реттеуді қамтамасыз ететін технологиялық процесті жетілдіруге бағытталған зерттеулер өзекті болып табылады. Құю қалыптарын өндірудегі маңызды мәселе – олардың құрамы болып табылады. Дәстүр бойынша қалыптардың негізгі компоненттері толтырғыш (кварц құмы) және байланыстырғыш (шайырдың бір түрі – пульвербакелит) болып табылады. Негізгі компоненттерден бөлек керосин және техникалық спирт секілді қоспаларды зерттеуде қолданыламыз. Зерттеулерде шайыр жойылған кезде фенол мен аммиактың бөлінуіне байланысты жұмыс орнында санитарлық-гигиеналық нормаларды қатаң сақталынған. Барлығы 20-ға жуық дереккөз талданды.

Кілтті сөздер: құм-шайырлы қалып, пульвербакелит, құйма, вариативті қысым, сапа, құю өндірісі.

Кіріспе

Құймалардың сапасы бойынша заманауи өндірістің алға қойылған талаптары жаңа құю өндірісінің жаңа технологияларын пайдалануды немесе жетілдіруді талап етеді. Құм-шайыр қалып арқылы алынған құймалар қазіргі уақытта біздің елде жасалынбайды. Құюдың жоғары сапасына және қалыптың бірқатар артықшылықтарына қарамастан, бұл әдіс өндірісте қолданылмайды, өйткені ол қымбат шайырды бір рет қолданғанның өзінде басқалармен салыстырғанда өте қымбатқа түседі [1]. Осыған байланысты, құм-шайырлы құю қалыптарын өндірудің технологиялық процесін жетілдіруге ықпал ететін, атап айтқанда,

қоспадағы қымбат байланыстырғыштың (пульвербакелит) құрамын азайта отырып, жоғары беріктік пен тығыздықты қамтамасыз ететін және басқа параметрлерді төмендетпейтін зерттеулер өзекті болып табылады.

Қалыпты өндірудің технологиялық режимдерінен басқа, қоспаның құрамы маңызды мәселе болып табылады. Дәстүр бойынша қалыптардың негізгі компоненттері толтырғыш (кварц құмы) және байланыстырғыш (шайыр) болып табылады. Негізгі компоненттерден басқа қоспалар да қолданылады. Олар керосин және техникалық спирт [2; 3].

Әлемдік тәжірибеде қолданылатын құм-шайырлы қалыптардың негізгі құрамдары мен өндіру әдістерін қарастырамыз.

Материалдар мен әдістері

Құм-шайырлы қалып алу үшін қолданылатын композициялар. Қазіргі уақытта [4; 5; 6] құю қалыптарын өндірудегі шешілмеген мәселелердің бірі, ол қалыптың көлемі бойынша технологиялық сипаттамаларының біркелкі еместігі болып табылады. Бұл тек құм-сазды қалыптарға ғана қатысты емес. Құюдың арнайы әдістері де технологиялық процестерді жетілдіруді қажет етеді. Атап айтқанда, шайқау арқылы алынған құм-шайырлы пішіндердің қасиеттерін орташалау үшін престоу қолданылады.

Қалыптау қоспаларының өкілдерінің бірі – құм-шайыр қоспалары. Мұндай қоспалардан құю қалыптарын пайдалану сапалы құймаларды алуды қамтамасыз етеді. Құю процесінің тиімділігін арттыру құю қалыптарын жасау технологиясын жетілдіру қажеттілігін тудырады [7].

Сонымен қатар [8; 9], қабықша құм-шайыр қалыптарын өндіруде де осындай технологиялық міндеттер түр. Қабық пішінінің биіктігі құмды-сазды пішіндердің биіктігінен едәуір аз болғанына қарамастан, қабықтың механикалық қасиеттерінің біркелкі еместігі (атап айтқанда, қаттылық) орын алады. Атап айтқанда, пайда болған қабықтың біркелкі емес қызуына байланысты (көбінесе пішіннің басында), қабықтың ішкі бөлігі қабықтың сыртқы бөлігінен айырмашылығы үлкен қаттылық пен беріктікке ие екенінде.

Осыған байланысты форманың қасиеттерін және олардың бүкіл көлемде біркелкілігін реттеуді қамтамасыз ететін технологиялық процесті жетілдіруге бағытталған зерттеулер өзекті болып табылады [10].

Қабық пішіндерін жасаудың заманауи технологиясы көптеген жағдайларда толтырғыш қабаттан босатуға мүмкіндік береді, бұған қабықтардың 30-35 кг/см² созылу беріктігін қамтамасыз ететін құм-шайыр қоспаларын қолдану арқылы қол жеткізіледі [11].

Құм-шайыр қоспасының негізгі компоненттері толтырғыш – кварц құмымен бірге байланыстырушы элемент – пульвербакелит және қосымша керосин болып табылады. Керосиннен басқа, біз еріткішті – техникалық спирт және бор қышқылын бөлек қолданамыз. Ең көп тараған СФ-011 маркалы пульвербакелит [12].

Технологиялық параметрлердің ішінен қыздыру температурасымен қатар қысым қолданылады.

Құю қалыптарын жасау әдістері. Құюдың арнайы әдістеріне құю өндірісінің ондаған әртүрлі түрлері жатады. Ең әмбебап әдістердің бірі – қабық қалыптарын құю болып табылады. Бұл әдіс ең үлкен номенклатураның, әртүрлі пішіндер және өлшемдердің жоғары сапалы құймаларын алуға мүмкіндік береді [13].

Сонымен қатар, байланыстырғыштың құны (пульвербакелит) салыстырмалы түрде жоғары. Сондықтан, байланыстырғышты қолдануды азайтуға ықпал ететін технологиялық режимдер өзекті болып табылады.

Дәстүр бойынша, қабықты қалыптастыруға қоспаны қыздыру арқылы қол жеткізіледі. Жылу әсерінен терморезистивті шайыр алдымен жұмсарады, күм бөлшектерімен байланысады, содан кейін қайтымсыз қатайды [14].

Берік қабықты алуға мүмкіндік беретін бағыттардың бірі – қоспаны термиялық әсермен престоу болып табылады [15]. Алайда, зерттеулер көрсеткендей, вариативті қысым кезінде қабық айтарлықтай беріктікке қол жеткізеді. Қысымды шайырдың құрамының өзгеруіне сәйкес өзгерту керек. Бұрын [16; 17; 18; 19] 0,25 МПа базалық қысымды қолдану және шайырды жұмсарту кезінде оны 0,30 МПа дейін көтеру толтырғышты шайырмен толық қаптау және күм түйіршіктерін тығыз төсеу арқылы қабық пішінін нығайтуға ықпал ететіні анықталған.

Қабықтың беріктігін арттыру қоспадағы байланыстырғышты тұтынуды азайтуға мүмкіндік береді және сәйкесінше қалыптарды және нәтижесінде құймаларды өндіруді арзандатады [20].

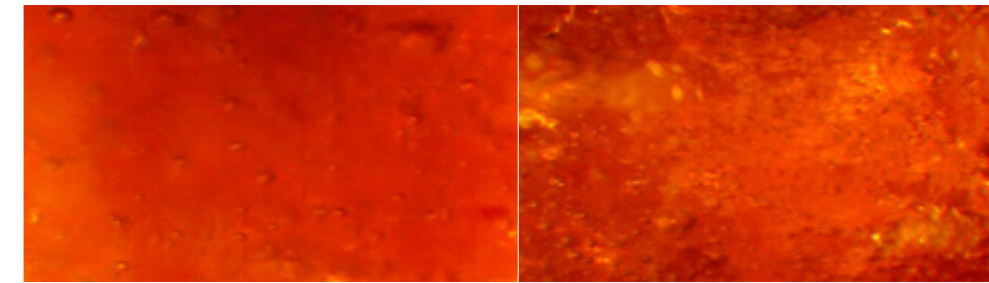
Нәтижелер және талқылау

Вариативті жүктемені қолдана отырып құю қалыптарын жасау бойынша негізгі эксперименттер жүргізу. Бұл жұмыста қысымның өзгеруінің күм-шайыр қалыптарының беріктігіне әсерін зерттеу міндеті тұрды. Зерттеулерде 1-кестеде келтірілген композиция қолданылады.

Кесте 1 – Зерттеуде қолданылатын қоспаның құрамы

Компонент атауы	Қоспаның пайыздық мөлшері, %
1К020 маркалы кварц құмы	70
1К0315 маркалы кварц құмы	30
СФ-011А маркалы пульвербакелит	4,5 (100 %-дан жоғары)
Керосин	0,3 (100 %-дан жоғары)
Уайт-спирит	2,5 (100 %-дан жоғары)
Бор қышқылы	0,1 (100 %-дан жоғары)

Вариативті қысымсыз (тұрақты қысым 0,25 МПа) және вариативті қысымды қолдана отырып (базалық қысым 0,25 МПа, бастапқы ұлғаюы 0,30 МПа дейін, содан кейін 0,2 МПа дейін төмендетілген) қатайған қоспаның микроқұрылымы зерттелді (1-сурет).



а) б)
Сурет 1 – Қоспа құрылымы: а – тұрақты қысым;
б – вариативті қысым (×500)

Екінші жағдайда толтырғыш бөлшектері бір-біріне тығыз орналасқаны анық көрсетіліп тұр, соның арқасында қоспаның тығыздығы мен беріктігі артады.

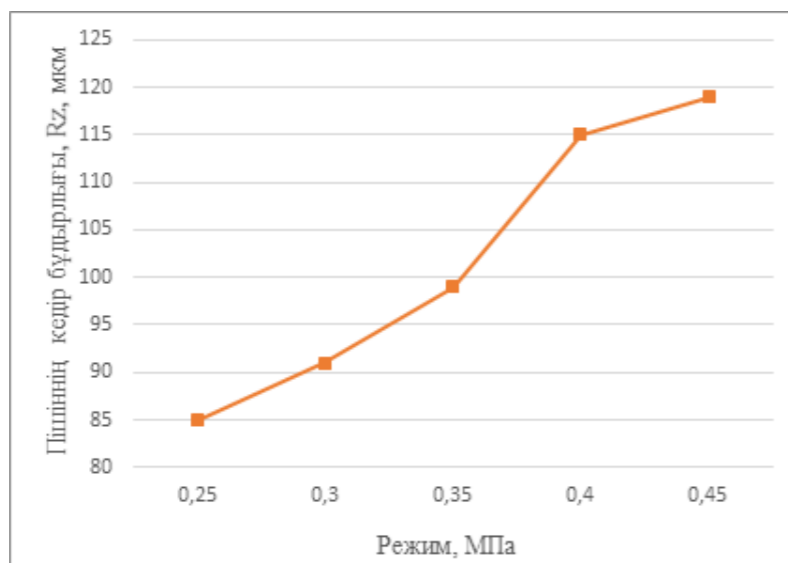
Бірқатар эксперименттер жасау арқылы қоспаның механикалық және технологиялық қасиеттеріне пульвербакелит құрамының әсерін анықталды. Технологиялық процесс келесідей: араластырылғаннан кейін күм-шайыр қоспасы машинаның бункеріне құйылды. Сосын, қоспасы бар бункерді құйма үлгілері бар 230 °С-қа дейін қыздырылған модельдік тақтаға аударылды. Сонымен қатар, 0,25 МПа қысым бір уақытта пресс тақтасы арқылы берілді. 10 секундтан кейін қысым 0,30 МПа дейін көтерілді. Тағы 10 секундтан кейін қыздыру температурасы 2-кестеге сәйкес өзгертілді.

Үлгілер қысу беріктігіне, газ өткізгіштігіне және кедір-бұдырлығына зерттелінді. Қысу беріктігі Instron100 қондырғысында анықталды. Кедір-бұдырлығын өлшеу TR 220 кедір-бұдырды өлшеу құралының көмегімен жүргізілді. Газ өткізгіштігі 04315А газ өткізгіштігін өлшеу құралында анықталды. Зерттеу нәтижелері 2–4-суреттерде келтірілген.

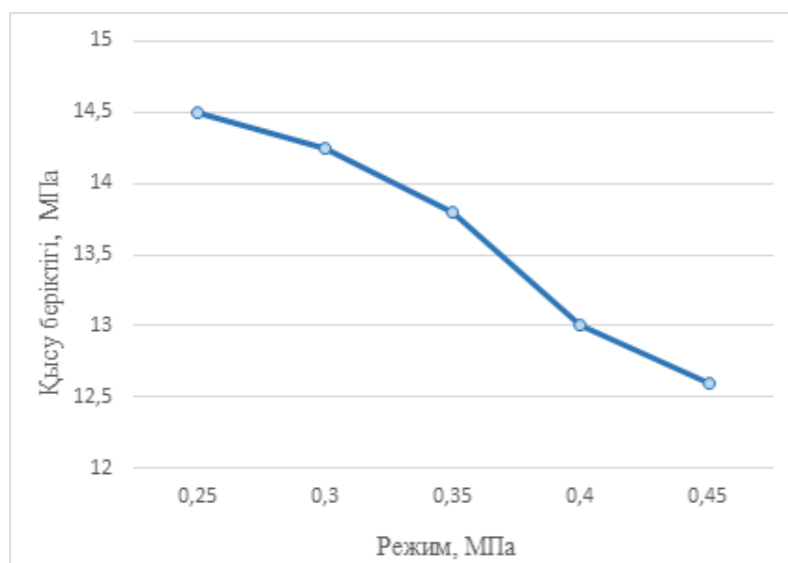
Кесте 2 – Қабық қалыптастырылған кезде қысымның өзгеру параметрлері

Режим нөмері	Қысым мөлшері, МПа
1	0,25
2	0,30
3	0,35
4	0,40
5	0,45

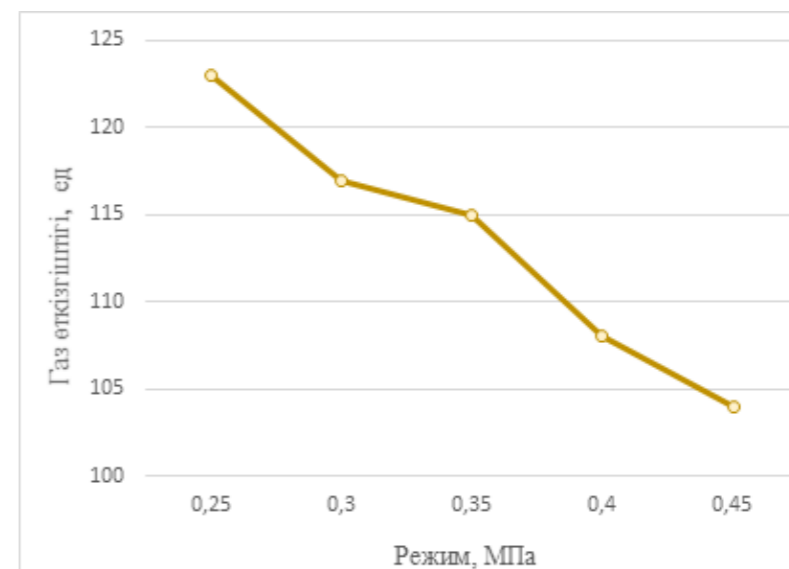
Зерттеулер көрсеткендей, қатты қабық пайда болғаннан кейін қысымды төмендеткен жөн. Жалпы, қысымның зерттелетін мөлшерінің өзгеруі газ өткізгіштігіне әсер етпейді, өйткені алынған барлық мәндер кеуекті емес құймаларды алуға мүмкіндік береді.



Сурет 2 – Вариативті қысымның қабық қалыбының кедір-бұдырлығына әсері



Сурет 3 – Вариативті қысымның қабық қалыбының қысу беріктігіне әсері



Сурет 4 – Вариативті қысымның қабық қалыбының газ өткізгіштігіне әсері

Жалпы алғанда, қысымның жоғарылауы газ өткізгіштігін төмендетеді, ал қысымның төмендеуі құм бөлшектерінің релаксациясы мен ашылуына әкеледі, нәтижесінде газ өткізгіштігінің жоғарылауына әкеледі. Қысымның төмендеуі кедір-бұдырлығы аз, беріктігі жоғары қалыптарды алуға мүмкіндік береді.

Қысымның жоғарылауымен беріктіктің артуы қысымның төмендеуімен болатын үлгілердің қысылуы қоспаның релаксациясына және ішкі кернеулердің төмендеуіне байланысты, олардың болуы қабықта микросызаттардың пайда болуына әкеледі.

Қолданылған технологиямен қоспаның қажетті технологиялық көрсеткіштеріне қол жеткізу үшін 2–3 % байланыстырғышты қолдану жеткілікті екені анық.

Қоспада байланыстырғыштың аз мөлшерін қолдана отырып, оның компоненттерінің адгезиясы мен когезиясы қалыпты балқымамен толтыруға төтеп беру үшін жеткіліксіз екені анық. Біршама жоғары құрамы практикалық емес, өйткені қалыптың технологиялық көрсеткіштері жоғарыламайды және мұндай қалыптың құны артады. 7–8 %-дан жоғары пульвербакелит мөлшері артық сұйық фазаның пайда болуына әкеледі және жүйенің беріктігі төмендейді.

Қорытынды

1 Құм-шайыр қалыптарын кез-келген құю қорытпаларынан салмағы 0,2–250 кг және қабырға қалыңдығы 3–15 мм болатын құймаларды алу кезінде сәтті қолдануға болады. Қабықтардың қалыңдығы орташа және ұсақ құю 6–15 мм құрайды, бұл қоспаны үнемдеуді көрсетеді. Бұл жағдайда қабықшалы қалыптарға құю үлкен өлшемді дәлдік береді, бұл құймалардың өзіндік құнына да әсер етеді.

2 Қабықшалы құм-шайыр қалыптары жоғары беріктікке және газ өткізгіштікке ие, бейім емес: ылғалды сіңіруге, төгілуге және қатайтатын қорытпаның шөгуіне қарсы тұруға. Сонымен қатар, олар құйма пайда болғаннан кейін оңай бұзылады. Бұл жоғары өлшемді дәлдікке ие құймаларды алу үшін қолайлы жағдай жасайды.

3 Қалыптау процесінде вариативті қысымды қолдану қымбат пульвербакелитті пайдалануды азайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Бастапқы қысымды 0,25 МПа-да қолдану, оны шайырды жұмсарту кезеңінде 0,30 МПа-ға дейін арттыру байланыстырғыштың құрамын 2–3 %-ға төмендетуге мүмкіндік береді.

4 Шайырды жұмсарту кезеңінде оны 0,30 МПа дейін арттыра отырып, 0,25 МПа бастапқы қысымды қолдану қалыптың беріктігін арттыруға және теологиялық қажетті газ өткізгіштігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

5 Шайырдың қатаюы кезінде қысымның жоғарылауы қалыптың бетіндегі құм бөлшектерінің сығылуына әкелетіні анықталды, бұл қабық қуысының ішкі бөлігінің бұзылуына және кедір-бұдырының жоғарылауына әкеледі.

16.04.2024 ж. баспаға түсті.

24.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

07.05.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Соколов, Н. А. Литъё в оболочковые формы [Текст]. – М. : Машиностроение, 2019, – 328 с.

2 Исагулов, А. З., Куликов, В. Ю., Щербакова, Е. П. Изготовление отливок литъём в песчано-смоляные формы [Мәтін]: Монография / КарГТУ. Караганда: КарГТУ, 2021. 174 с.

3 Куликов, В. Ю., Еремин, Е. Н., Ковалёва, Т. В., Квон, Св. С., Исагулова, Д. А. Разработка состава песчано-смоляной смеси для формообразования в условиях вариативного прессования [Текст] // Литейное производство, Издательский дом «Литейное производство», Москва, 2019, № 4.

4 R. Ganesh Narayanan, Jay S. Gunasekera Sustainable Manufacturing Processes [Text]. Academic Press, 2022, – 370 p.

5 Круглов, С. В., Уразбаев, Б. К. Расчёт литниково-питающих систем для отливок, получаемых в оболочковых формах // Литейное производство. – 2018, № 10. – С. 21–22.

6 Kvon, S. S. Using high-chromium iron as material for production of the equipping components of mine shafts [Text] / Metalurgija (Croatia). – 2016. – Т. 55. – № 2. – Р. 206–208.

7 Серебро, В. С., Цвиткис, Э. Ш., Лысенко, Т. В., Давыдова, Е. А., Соловьева, В. С. Повышение эффективности технологии литъё в оболочковые формы [Текст] // Литейное производство. – 2016. – № 9. – С. 21–23.

8 Liu, Yu., Wang, Xudong., Sun, Yi. Research on a new detection method of slab surface crack in mould during continuous casting [Text] // Metallurgical research & technology. – Nov. 2018. – Volume 1. – Article 108.

9 Исагулов, А. З., Куликов, В. Ю., Твердохлебов Н. И. Моделирование процесса теплопереноса с целью получения качественных литейных форм [Текст] // Труды Международного симпозиума «Информационно-коммуникационные

технологии в индустрии, образовании и науке» (28–29 октября 2010 г.) – Караганда, 2016. Часть 1.

10 Зимон, А. Д., Андриевский, Е. И. Аутогезия сыпучих материалов [Текст]. – М. : Metallurgia, 2015. – 287 с.

11 Куликов, В. Ю., Квон, С. С., Исагулов, А. З., Ковалёва, Т. В., Щербакова, Е. П. Определение напряжения ползучести и релаксации песчано-смоляных смесей [Текст] // Фундаментальные исследования. – Москва, 2015. – № 2 (часть 15). – С. 3272–3274.

12 Мельников, А. П., Милеева, Т. С., Мозолевский, В. В., Куракевич, Б. В. Лабораторные установки для изготовления стандартных измерительных образцов из песчано-смоляных смесей для испытания их прочностных свойств [Текст] // Литъё и металлургия. 2018. – № 1. – С. 98–101.

13 Гуляев, Б. Б., Корнюшкин, О. А., Кузин, А. В. Формовочные процессы [Текст]. – Л. : Машиностроение. – 2017. – 264 с.

14 Усенко, Р. В., Мазорчук, В. Ф., Репях, С. И. Прочность спекающегося опорного наполнителя для оболочковых форм [Текст] // Литейное производство. 2016. – № 12. – С. 16–18.

15 Куликов, В. Ю., Исагулов, А. З., Щербакова, Е. П., Ковалева, Т. В., Еремин, Е. Н. О поведении песчано-смоляной смеси при формообразовании [Текст] // Литейное производство. – 2017. – № 3. – С. 23–25.

16 Исагулов, А. З., Ибатов, М. К., Куликов, В. Ю., Квон, С. С., Ковалева, Т. В., Щербакова, Е. П. Совершенствование технологии изготовления отливок в песчано-смоляных формах [Текст] // Труды Университета. – 2019. – № 1. – С. 22–26.

17 Куликов, В. Ю., Еремин, Е. Н., Ковалева, Т. В., Квон, С. С., Исагулова, Д. А. Разработка состава песчано-смоляной смеси для формообразования в условиях вариативного прессования [Текст] // Литейное производство. – 2019. – № 4. – С. 22–26.

18 Куликов, В. Ю., Исагулов, А. З., Еремин, Е. Н., Ковалева, Т. В. Повышение равномерности плотности и увеличение прочности оболочковой формы [Текст] // Литейное производство. – 2018. – № 3. – С. 27–29.

19 Issagulov, A., Kulikov V., Isagulova, D., Shcherbakova, E., Kuzhanova A. Developing technological process of obtaining quality casts [Text] // Metallurgija. – 2014. – Т. 53. – № 4. – Р. 601–604.

20 Еремин, Е. Н., Куликов, В. Ю., Ковалёва, Т. В. Исследование песчано-смоляных смесей при одновременном статическом и термическом воздействии [Текст] // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 27–29.

- 1 **Sokolov, N. A.** Lite v obolochkovye formy [Casting in shell molds] [Text]. – Moscow : Mechanical engineering, 2019, – 328 p.
- 2 **Isagulov, A. Z., Kulikov, V. Iu., Shcherbakova, E. P.** Izgotovlenie otlivok litem v peschano-smolianye formy [Production of castings by casting in sand-resin molds] [Text] : Monograph / KSTU. Karaganda : KSTU, 2021. 174 p.
- 3 **Kulikov, V. Iu., Eremin, E. N., Kovaleva, T. V., Kvon, Sv. S., Isagulova, D. A.** Razrabotka sostava peschano-smolianoi smesi dlia formoobrazovaniia v usloviakh variativnogo pressovaniia [Development of the composition of a sand-resin mixture for shaping under variable pressing conditions] [Text] // Liteinoe proizvodstvo, Izdatelskii dom «Foundry production», Moscow, 2019, № 4.
- 4 **R. Ganesh Narayanan, Jay S.** Gunasekera Sustainable Manufacturing Processes [Text]. Academic Press, 2022, – 370 p.
- 5 **Kruglov, S. V., Urazbaev, B. K.** Raschet litnikovo-pitaiushchikh sistem dlia otlivok, poluchaemykh v obolochkovykh formakh [Calculation of gating-feeding systems for castings produced in shell molds] // Foundry production. – 2018, № 10. – P. 21–22.
- 6 **Kvon, S. S.** Using high-chromium iron as material for production of the equipping components of mine shafts [Text] / Metallurgy (Croatia). – 2016. – T. 55. – № 2. – P. 206–208.
- 7 **Serebro, V. S., Tsvitkis, E. Sh., Lysenko, T. V., Davydova, E. A., Soloveva, V. S.** Povyshenie effektivnosti tekhnologii litia v obolochkovye formy [Increasing the efficiency of casting technology in shell molds] [Text] // Foundry production. – 2016. – № 9. – P. 21–23.
- 8 **Liu, Yu; Wang, Xudong; Sun, Yi.** Research on a new detection method of slab surface crack in mould during continuous casting [Text] // Metallurgical research & technology. – Nov. 2018. – Volume 1. – Article 108.
- 9 **Isagulov, A. Z., Kulikov, V. Iu., Tverdokhlebov, N. I.** Modelirovanie protsessa teploperenosa s tseliu polucheniia kachestvennykh liteinykh form [Modeling the heat transfer process to obtain high-quality casting molds] [Text] // Proceedings of the International Symposium «Information and Communication Technologies in Industry, Education and Science» (October 28-29, 2010) – Karaganda, 2016. Part 1.
- 10 **Zimon, A. D., Andrievskii, E. I.** Autogeziia sypuchikh materialov [Autohesion of bulk materials] [Text]. – Moscow : Metallurgy, 2015. – 287 p.
- 11 **Kulikov, V. Iu., Kvon, S. S., Isagulov, A. Z., Kovaleva, T. V., Shcherbakova, E. P.** Opredelenie napriazheniia polzuchesti i relaksatsii peschano-smolianykh smesei [Determination of creep stress and relaxation of sand-resin mixtures] [Text] // Basic research. – Moscow, 2015. – № 2 (part 15). – P. 3272–3274.
- 12 **Melnikov, A. P., Mileeva, T. S., Mozolevskii, V. V., Kurakevich, B. V.** Laboratornye ustanovki dlia izgotovleniia standartnykh izmeritelnykh obraztsov iz peschano-smolianykh smesei dlia ispytaniia ikh prochnostnykh svoistv [Laboratory installations for

- the manufacture of standard measuring samples from sand-resin mixtures for testing their strength properties] [Text] // Casting and metallurgy. 2018. – № 1. – P. 98–101.
- 13 **Guliaev B. B., Korniuskhin O. A., Kuzin A. V.** Formovochnye protsessy [Molding processes] [Text]. – L. : Mechanical engineering. – 2017. – 264 p.
- 14 **Usenko, R. V., Mazorchuk, V. F., Repiakh, S. I.** Prochnost spekaishchegosia opornogo napolnitelia dlia obolochkovykh form [Strength of sintered support filler for shell molds] [Text] // Foundry production. 2016. – № 12. – P. 16–18.
- 15 **Kulikov, V. Iu., Isagulov, A. Z., Shcherbakova, E. P., Kovaleva, T. V., Eremin, E. N.** O povedenii peschano-smolianoi smesi pri formoobrazovanii [On the behavior of the sand-resin mixture during shaping] [Text] // Foundry production. – 2017. – № 3. – P. 23–25.
- 16 **Isagulov, A. Z., Ibatov, M. K., Kulikov, V. Iu., Kvon, S. S., Kovaleva, T. V., Shcherbakova, E. P.** Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniia otlivok v peschano-smolianykh formakh [Improving the technology of manufacturing castings in sand-resin forms] [Text] // Proceedings of the University. – 2019. – № 1. – P. 22–26.
- 17 **Kulikov, V. Iu., Eremin, E. N., Kovaleva, T. V., Kvon, S. S., Isagulova, D. A.** Razrabotka sostava peschano-smolianoi smesi dlia formoobrazovaniia v usloviakh variativnogo pressovaniia [Development of the composition of a sand-resin mixture for shaping under variable pressing conditions] [Text] // Foundry production. – 2019. – № 4. – P. 22–26.
- 18 **Kulikov, V. Iu., Isagulov, A. Z., Eremin, E. N., Kovaleva, T. V.** Povyshenie ravnomernosti plotnosti i uvelichenie prochnosti obolochkovoi formy [Increasing the uniformity of density and increasing the strength of the shell mold] [Text] // Foundry production. – 2018. – № 3. – P. 27–29.
- 19 **Issagulov, A., Kulikov, V., Isagulova, D., Shcherbakova, E., Kuzhanova, A.** Developing technological process of obtaining quality casts [Text] // Metallurgy. – 2014. – T. 53. – № 4. – P. 601–604.
- 20 **Eremin, E. N., Kulikov, V. Iu., Kovaleva, T. V.** Issledovanie peschano-smolianykh smesei pri odnovremennom staticheskom i termicheskom vozdeistvii [Study of sand-resin mixtures under simultaneous static and thermal effects] [Text] // Omsk Scientific Bulletin. – 2015. – № 3 (143). – P. 27–29.

**В. Ю. Куликов, Ш. С. Байбеков, Ж. Д. Жолдубаева*

Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВАРИАТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ

Одной из важнейших технологических операций, определяющих качество отливок, является изготовление литейной формы. В статье приводится анализ современного состояния вопроса получения высококачественных отливок литье в песчано-смоляные формы (далее – ПСФ). Определено, что ПСФ позволяет изготавливать качественные отливки с минимальным процентом дефектов литья, но недостатком таких литейных форм является высокая стоимость связующего – терморезактивной смолы пульвербакелита. Определено, что одним из основных направлений снижения стоимости формы за счет снижения содержания связующего, а, следовательно, и отливки в целом, является использование давления в процессе формообразования. Исследования направлены на отработку технологических режимов в условиях применения вариативного давления, позволяющих сократить содержания связующего в ПСФ. В связи с этим исследования, способствующие совершенствованию технологического процесса изготовления песчано-смоляных литейных форм, в частности, обеспечивающих высокую прочность и плотность при одновременном уменьшении содержания дорогостоящего связующего (пульвербакелита) в смесях, и не ухудшающих при этом других параметров, является актуальными. Важным вопросом для литейных форм является их состав. Традиционно основными компонентами форм являются наполнитель (кварцевый песок) и связующее (один из видов смолы – пульвербакелит). Помимо основных компонентов в исследовании используются добавки: керосин и технический спирт. В исследованиях строго соблюдается санитарно-гигиенических норма на рабочем месте вследствие выделения фенола и аммиака при деструкции смолы. Всего проанализировано около 20 источников.

Ключевые слова: песчано-смоляная форма, пульвербакелит, отливка, вариативное давление, качество, литейное производство.

**V. Iu. Kulikov, Sh. S. Baibekov, Zh. D. Zholdubaeva*

Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov,
Republic of Kazakhstan, Karaganda

INCREASING THE MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF SHELL MOLDS THROUGH THE USE OF VARIABLE PRESSURE

One of the most important technological processes that determine the quality of castings is the manufacture of a casting mold. The article provides an analysis of the current state of the issue of obtaining high-quality castings in sand-resin molds (SRM). It is determined that SRM allows to produce high-quality castings with a minimum percentage of casting defects, but the disadvantage of such molds is the high cost of a binder - thermosetting resin of pulverbakelite. It is determined that one of the main directions of reducing the cost of the mold by reducing the binder content, and, consequently, the casting as a whole, is the use of pressure in the shaping process. The research is aimed at working out technological modes in the conditions of applying regulatory pressure, which make it possible to reduce the binder content in the SRM. In this regard, studies contributing to the improvement of the technological process of manufacturing sand-resin molds, in particular, providing high strength and density while reducing the content of expensive binder (pulverbakelite) in mixtures, and not degrading other parameters, are relevant. An important issue for molds is their composition. Traditionally, the main components of the molds are filler (quartz sand) and binder (one type of resin is pulverbakelite). In addition to the main components, additives are used in the study: kerosene and industrial alcohol. In studies, sanitary and hygienic standards are strictly observed in the workplace due to the release of phenol and ammonia during the destruction of resin. In total, about 20 sources were analyzed.

Keywords: sand-resin mold, pulverbakelite, casting, variable pressure, quality, foundry.

*К. А. Ногаев, Ж. А. Ашкеев, М. Ж. Абишкенов,
Г. Е. Ахметова, А. У. Камаров

Карагандинский индустриальный университет,
Республика Казахстан, г. Темиртау

*e-mail: k.nogayev@tttu.edu.kz

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ ПРИ ПРОКАТКЕ СО СДВИГОМ В КАЛИБРОВАННЫХ ВАЛКАХ

В статье рассматривается одна из актуальных задач в области обработки металлов давлением – изучение закономерностей изменения микроструктуры при реализации интенсивных сдвиговых деформации при прокатке в системе калибров «овал-круг». Для описания эволюции микроструктуры выбран метод численного моделирования на основе феноменологической модели Джонсона-Мейла-Аврами-Колмогорова (JMAK модель), широко используемый в исследованиях различных процессов обработки металлов давлением. В программном комплексе DEFORM 3D выполнено конечно-элементное моделирование процесса прокатки по традиционной и новой схеме, рассчитаны параметры микроструктуры для стали AISI 316 с использованием модели динамической рекристаллизации. Произведен сравнительный анализ значений и характера распределения по сечению средних размеров зерна материалов, полученных при прокатке по традиционной и новой схеме. По результатам моделирования установлено, что реализация интенсивных сдвиговых деформации при прокатке в системе калибров «овал-круг» обеспечивает более интенсивные и равномерное измельчение зерна по всему сечению полосы по сравнению с традиционной схемой. Получено подтверждение неоднородности механических свойств металла по сечению при прокатке по традиционной схеме прокатки. Доказано эффективность новой схемы прокатки в проработке наиболее пораженных дефектами участков исходной заготовки.

Ключевые слова: прокатка, калибр, метод конечных элементов, пластическое деформирование, микроструктура металла, JMAK модель.

Введение

Обработку металлов давлением, в частности прокатку необходимо рассматривать не только как процесс формоизменения, но и как мощный способ воздействия на тонкое строение и структурно-чувствительные свойства металлов и сплавов, определяющие их механические свойства. В связи с этим изучение закономерностей структурных изменений в металлах и сплавах при осуществлении новых процессов обработки металлов давлением является актуальной задачей.

В настоящее время для изучения микроструктуры металлов и сплавов наряду с металлографическими методами анализа применяются численные методы моделирования на основе интегральных математических моделей различных взаимосвязанных процессов структурообразования, такие как

феноменологический модель Джонсона-Мейла-Аврами-Колмогорова (JMAK модель), метод клеточных автоматов, метод фазового поля и другие [1, 2]. Для исследования эволюции микроструктуры при различных процессах горячей пластической деформации наиболее широко используется JMAK модель [2-7], что обусловлено высокой предсказательной способностью и возможностью связать характеристик микроструктуры с параметрами пластической деформации. Тестирование JMAK модели в широком диапазоне физических параметров микроструктуры показывает хорошее совпадение результатов моделирования с данными физических экспериментов [8].

Цель настоящей работы – оценка эффективности горячей прокатки в системе калибров «овал-круг», реализующей интенсивные сдвиговые деформации, на основе моделирования эволюции микроструктуры стали с использованием JMAK модели.

Материалы и методы

Компьютерное моделирование эволюции микроструктуры выполнено в программном комплексе DEFORM 3D, ориентированный на решение задач обработки металлов давлением. Функция моделирования микроструктуры постпроцессора программы DEFORM 3D предназначена для прогнозирования процессов упрочнения, восстановления, расчета границ зерен, размера зерен, рекристаллизации, фазовых превращений и т.д.

В программном комплексе DEFORM 3D реализованы JMAK модели, позволяющие вычислить параметры микроструктуры в зависимости от деформации и температуры (модель динамической рекристаллизации) (рис. 1) и времени и температуры (модели метадинамической и статической рекристаллизации). В нашем случае, с учетом непрерывности и больших степеней деформаций в моделируемом процессе прокатки, используем модель динамической рекристаллизации.

Для моделирования эволюции микроструктуры в программном комплексе DEFORM 3D необходима JMAK модель материала с известными константами, для определения которых требуется проведение отдельных термомеханических испытаний и металлографических исследований. Для некоторых материалов константы JMAK модели приведены в научных публикациях. В нашей работе в качестве материала объекта моделирования выбрали сталь марки AISI 316. Для стали AISI 316 математические модели эволюции структуры в процессе динамической рекристаллизации описаны в работе [9] следующими выражениями:

Объемная доля динамически рекристаллизованных зерен

$$k_d = 0,029 \cdot \dot{\epsilon}^{-0,04} \cdot \exp\left[-\frac{16550}{RT}\right],$$

$$\epsilon_{кр} = 1,97 \cdot \dot{\epsilon}^{0,06} \cdot \exp\left[\frac{23590}{RT}\right],$$

$$\epsilon_{0,5} = 71 \cdot \dot{\epsilon}^{0,124} \cdot \exp\left[\frac{51300}{RT}\right].$$

Размер динамически рекристаллизованного зерна, мкм

$$d_{DRX} = 0,3 \cdot \dot{\epsilon}^{-0,067} \cdot \exp\left[\frac{60970}{RT}\right].$$

где k_d – кинетическая экспонента (показатель Аврами), отвечающая за скорость образования зародышей;

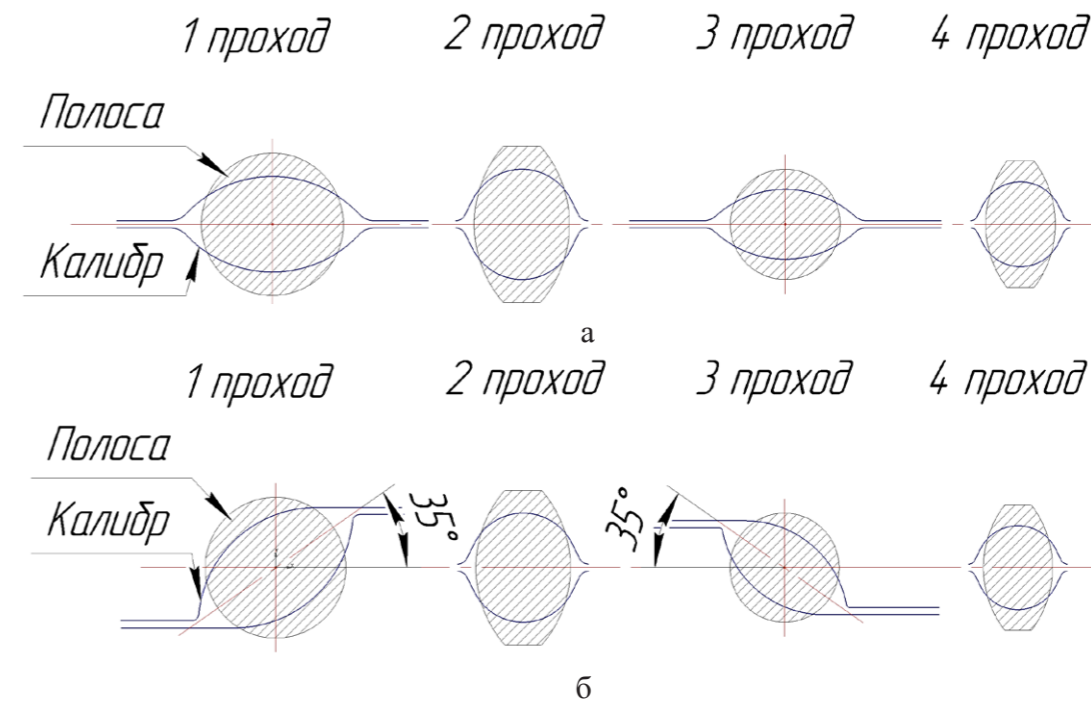
$\dot{\epsilon}$ – интенсивность скорости деформации, с⁻¹;
 =8,31 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная;
 T – абсолютная температура материала, К;

$\epsilon_{кр}$ – критическое значение интенсивности деформации;

$\epsilon_{0,5}$ – интенсивность деформации при 50%-ной рекристаллизации.

С учетом приведенной модели динамической рекристаллизации выполнено редактирование свойств стали AISI 316 в библиотеке материалов препроцессора DEFORM 3D.

Перед расчетом параметров микроструктуры методом конечных элементов определяем необходимые показатели напряженно-деформированного состояния в любой момент времени прокатки и по всему объему полосы: тензоры, девиаторы и их инварианты напряжений и деформаций, скорости деформаций, температуру материала. Для сравнительной оценки моделировали процесс прокатки за 4 прохода в двух системах калибров «овал-круг»: традиционной (рисунок 1, а) – схема I и реализующей интенсивные сдвиговые деформации за счет наклона овального калибра (рисунок 1, б) – схема II (новая схема прокатки). Методика, порядок и исходные параметры для конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния описаны в работе [10], которая является частью общего, с настоящей работой, исследования.



а – традиционная; б – реализующая интенсивные сдвиговые деформации
 Рисунок 1 – Схема прокатки в системе калибров «овал-круг»

Вычисление параметров микроструктуры выполнено для нескольких точек поперечного сечения полосы с целью оценки равномерности проработки металла в различных зонах. Расположение точек в поперечном сечении полосы перед началом процесса деформирования показаны на рисунке 2. Исходный размер зерна приняли равным 5 мкм.

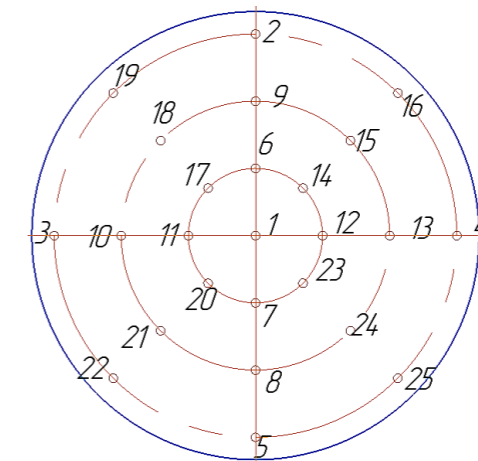
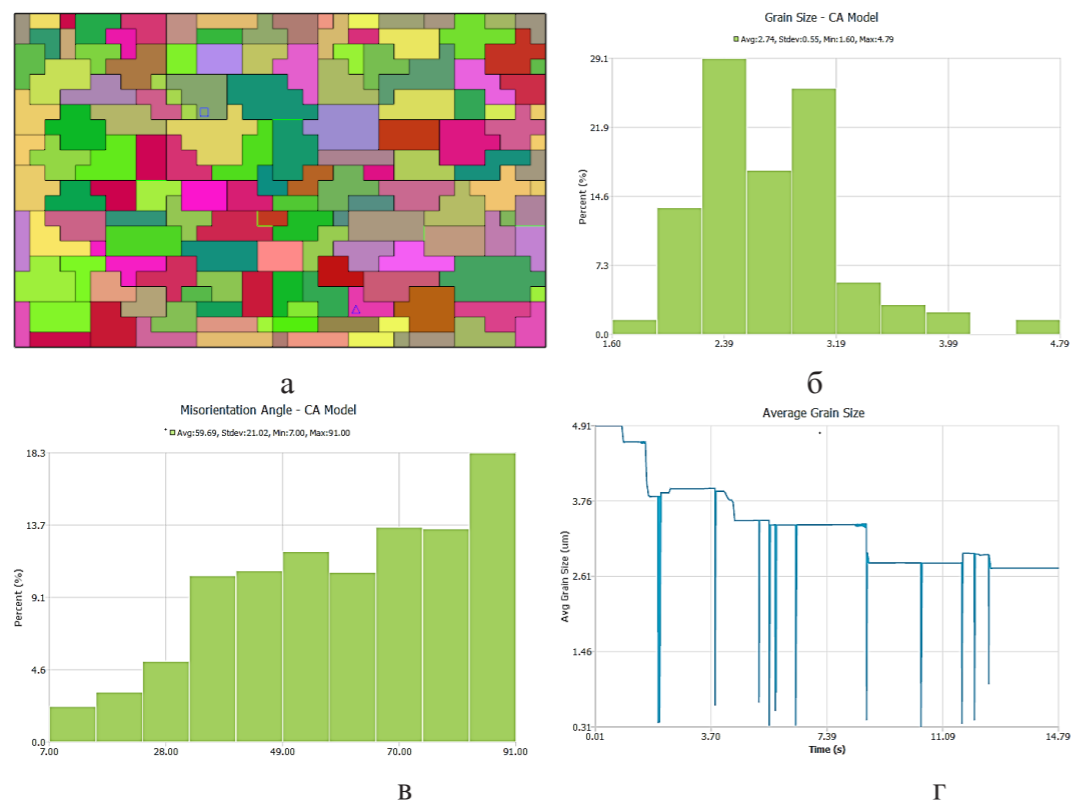


Рисунок 2 - Расположение точек в поперечном сечении полосы перед началом процесса деформирования

Результаты и обсуждения

В результате расчета для выбранных точек получены картины ориентации и границы зерен, построены гистограммы размера зерна, дезориентации зерна и др. параметры микроструктуры в виде графиков (рисунок 3).



а – картина ориентации и границы зерен; б – гистограмма размера зерна; в – гистограмма дезориентации зерна; г – график изменения среднего размера зерна в процессе прокатки

Рисунок 3 – Результаты моделирования эволюции микроструктуры для точки 1 в конце процесса прокатки по схеме II

Для анализа использован средний размер зерна в конце процесса прокатки (таблица 1).

Таблица 1 – Средний размер зерна в конце процесса прокатки

№ точки	Осевая зона		Промежуточная зона		Поверхностная зона			
	Г*	II**	№ точки	I	№ точки	I	II	
1	2,92	2,74	8	2,89	2,51	2	3,01	2,92
6	2,89	2,74	9	2,9	2,93	3	2,83	2,57
7	2,89	2,51	10	2,9	2,57	4	2,5	2,74
11	2,85	2,74	13	2,72	2,74	5	2,31	2,51
12	2,83	2,74	15	2,8	2,74	16	2,68	2,76
14	2,83	2,74	18	2,88	2,74	19	2,8	2,76

17	2,85	2,74	21	2,83	2,51	22	2,14	2,51
20	2,89	2,51	24	2,74	2,51	25	2,07	2,51
23	2,89	2,57						

Примечание:

- * Прокатка в традиционной системе калибров;
- ** Прокатка в системе калибров, реализующей сдвиговые деформации

Результаты моделирования эволюции микроструктуры показывает, что при прокатке в системе калибров «овал-круг», по схеме II, происходит более интенсивное измельчение зерна. Так, в этом случае целом по сечению средний размер зерна составляет 2,66, что на 3,42 % меньше чем по традиционной схеме прокатки. Причем, дисперсия значений средних размеров зерна по сечению при прокатке со сдвигом (0,017) 3,27 раза меньше чем в традиционной схеме (0,056), что показывает более равномерное измельчение зерен при прокатке по новой схеме.

При традиционной схеме прокатки осевые зоны имеют более крупные размеры зерна (2,87), чем поверхностные зоны (2,54), что подтверждает утверждение литературных источников [11] о неоднородности механических свойств металла по сечению при такой схеме прокатки. При новой схеме прокатки (схема II) средние размеры зерна в осевой зоне (2,67) на 7,53% меньше чем в традиционной схеме, что доказывает эффективность новой схемы в проработке наиболее пораженных дефектами (осевая рыхлость, газовые пузыри, дендритная ликвация и другие) участков исходного слитка и непрерывнолитой заготовки.

В целом можно констатировать, что реализация интенсивных сдвиговых деформации по новой схеме прокатки положительно влияет на эволюцию микроструктуры, что получить отражение в улучшении механических свойств готового изделия.

Выводы

1 Установлено, что прокатка металла в системе калибров «овал-круг», реализующей интенсивные сдвиговые деформации, обеспечивает более интенсивные и равномерное измельчение зерна по всему сечению полосы, чем при прокатке по традиционной схеме.

2 Установлено, что при прокатке в системе калибров «овал-круг», реализующей интенсивные сдвиговые деформации, обеспечивается лучшая проработка структуры в наиболее пораженных дефектами участках исходной заготовки.

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 **Абрамов, А. А.** Компьютерное моделирование микроструктуры в процессах обработки металлов давлением. // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Сборник научных трудов в 3 книгах.* Минск.: – 2017. – Том 3. – С. 62–68. [Электронный ресурс]. – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32842069>.
- 2 **Роговой, А. А., Салихова, Н. К.** Численное исследование термомеханического поведения и эволюции микроструктуры заготовки из никелевого сплава в процессе ее осадки. // *Вычислительная механика сплошных сред.* – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 177–189. <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2021.14.2.15>.
- 3 **Семашко, М. Ю., Шеркунов, В. Г., Чигинцев, П. А.** Моделирование в среде DEFORM микроструктуры металлических образцов, подвергнутых интенсивной пластической деформации. // *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова.* – 2013. – № 1. – С. 57–61.
- 4 **Shahab Bazri, Carlo Mapelli, Silvia Barella, Andrea Gruttadauria, Davide Mombelli, Renato Nemfardi, Roberto Bedini, Giorgio Zucchelli.** Effect of cold drawing reduction rate on edge-to-center-characterized microstructure and orientation alongside residual stresses in conjunction with magnetic properties of low-carbon high-alloy ferromagnetic steel. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* – 2024. – Volume 591. – 171699. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171699>.
- 5 **Bylya, O., Reshetov, A., Stefani, N., Rosochowska, M., & Blackwell, P.** Applicability of JMAK-type model for predicting microstructural evolution in nickel-based superalloys. // *Procedia Engineering.* – 2017. Volume 207. – P. 1105–1110. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.1067>.
- 6 **Коробова, Н. В., Сидоров, А. А., Семенов, А. А.** Оценка влияния технологических параметров процесса изготовления диска из жаропрочного никелевого сплава IN 718 методами моделирования на микроструктуру. // *Известия ТулГУ. Технические науки.* – 2019. – Вып. 5. – С. 146–152.
- 7 **Ву Хай Ха.** Компьютерное моделирование эволюции микроструктуры в процессе обратного выдавливания. // *Известия ТулГУ. Технические науки.* – 2012. – Вып. 5. – С. 85–92.
- 8 **Irani, M., Lim, S., & Joun, M.** Experimental and numerical study on the temperature sensitivity of the dynamic recrystallization activation energy and strain rate exponent in the JMAK model. // *Journal of Materials Research and Technology.* – 2019. – Volume 8. – Issue 2. – P. 1616–1627. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.11.007>.
- 9 **Чурюмова, А. Ю., Поздняков, А. В.** Моделирование эволюции микроструктуры металлических материалов в процессе горячей пластической деформации и термической обработки. // *Физика металлов и металловедение.* – 2020. – № 11. – С. 1162–1186. <https://doi.org/10.31857/S0015323020110030>.
- 10 **Ногаев, К. А., Ашкеев, Ж. А., Абишкенов, М. Ж., Сладковский, А., Камаров, А. У.** Анализ напряженно-деформированного состояния при прокатке в овальном калибре, реализующем поперечный сдвиг // *Наука и техника Казахстана.* – 2023. – № 4. – С. 178–192. ISSN 2788-8770. <https://doi.org/10.48081/ISPR9282>.

- 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>.
Поступило в редакцию 10.06.2024.
Поступило с исправлениями 10.06.2024.
Принято в печать 11.06.2024.

REFERENCES

- 1 **Abramov, A. A.** Kompyuternoye modelirovaniye mikrostruktury v protsessakh obrabotki metallov davleniyem. [Computer simulation of microstructure in metal forming processes.] // *Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov. Sbornik nauchnykh trudov v 3 knigakh.* Minsk.: – 2017. – Tom 3. – P. 62–68. [Electronic resource]. – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32842069>.
- 2 **Rogovoy, A. A., Salikhova, N. K.** Chislennoye issledovaniye termomekhanicheskogo povedeniya i evolyutsii mikrostruktury zagotovki iz nikelovogo splava v protsesse ee osadki. [Numerical study of the thermomechanical behavior and microstructure evolution of a nickel alloy workpiece during its upsetting.] // *Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred.* – 2021. – T. 14. № 2. – P. 177–189. <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2021.14.2.15>.
- 3 **Semashko, M. Yu., Sherkunov, V. G., Chigintsev, P. A.** Modelirovaniye v srede DEFORM mikrostruktury metallicheskih obraztsov, podvergnutykh intensivnoy plasticheskoy deformatsii. [Simulation of the microstructure of metal samples subjected to severe plastic deformation in the DEFORM environment.] // *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova.* – 2013. – № 1. – P. 57–61.
- 4 **Shahab Bazri, Carlo Mapelli, Silvia Barella, Andrea Gruttadauria, Davide Mombelli, Renato Nemfardi, Roberto Bedini, Giorgio Zucchelli.** Effect of cold drawing reduction rate on edge-to-center-characterized microstructure and orientation alongside residual stresses in conjunction with magnetic properties of low-carbon high-alloy ferromagnetic steel. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* – 2024. – Volume 591. – 171699. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171699>.
- 5 **Bylya, O., Reshetov, A., Stefani, N., Rosochowska, M., & Blackwell, P.** Applicability of JMAK-type model for predicting microstructural evolution in nickel-based superalloys. // *Procedia Engineering.* – 2017. Volume 207. – P. 1105–1110. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.1067>.
- 6 **Korobova, N. V., Sidorov, A. A., Semenov, A. A.** Otsenka vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov protsessa izgotovleniya diska iz zharoprochnogo nikelovogo splava IN 718 metodami modelirovaniya na mikrostrukturu. [Assessment of the influence of technological parameters of the process of manufacturing a disk from a heat-resistant nickel alloy IN 718 using modeling methods on the microstructure.] // *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki.* – 2019. – Vyp. 5. – P. 146–152.
- 7 **Vu Khay Kha.** Kompyuternoye modelirovaniye evolyutsii mikrostruktury v protsesse obratnogo vydavlivaniya. [Computer simulation of microstructure evolution

during reverse extrusion.] // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. – 2012. – Вып. 5. – P. 85–92.

8 **Irani, M., Lim, S., & Joun, M.** Experimental and numerical study on the temperature sensitivity of the dynamic recrystallization activation energy and strain rate exponent in the JMAK model. // Journal of Materials Research and Technology. – 2019. – Volume 8. – Issue 2. – P. 1616–1627. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.11.007>.

9 A. Yu. Churyumova, A. V. Pozdnyakov. Modelirovaniye evolyutsii mikrostruktury metallicheskih materialov v protsesse goryachey plasticheskoy deformatsii i termicheskoy obrabotki. [Simulation of Microstructure Evolution in Metal Materials under Hot Plastic Deformation and Heat Treatment.] // Fizika metallov i metalovedeniye. – 2020. – № 11. – P. 1162–1186. <https://doi.org/10.31857/S0015323020110030>.

10 **Nogayev, K. A., Ashkeyev, Zh. A., Abishkenov, M. Zh., Sladkovskiy, A., Kamarov, A. U.** Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya pri prokatke v ovalnom kalibre. realizuyushchem poperechnyy sdvig [Analysis of stress-strain state during rolling in an oval gauge realizing transverse shear] // Nauka i tekhnika Kazakhstana. – 2023. – № 4. – P. 178-192. ISSN 2788-8770. – <https://doi.org/10.48081/ISPR9282>.

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>.

***К. А. Ногаев, Ж. А. Ашкеев, М. Ж. Абишкенов, Г. Е. Ахметова, А. У. Камаров** Қарағанды индустриялық университеті, Қазақстан Республикасы, Теміртау қ. 10.06.2024 ж. баспаға түсті.
10.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.
11.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

БОЛАТТЫ КАЛИБРЛЕНГЕН БІЛКШЕЛЕРДЕ ЫҒЫСТЫРЫП ПРОКАТТАУ КЕЗІНДЕГІ МИКРОСТРУКТУРА ЭВОЛЮЦИЯСЫН МОДЕЛДЕУ

Мақалада металдарды қысыммен өңдеу саласындағы өзекті міндеттердің бірі – «овал-дөңгелек» калибрлер жүйесінде прокаттау кезінде қарқынды ығысу деформациясын жүзеге асыру кезінде микроқұрылымның өзгеру заңдылықтарын зерттеу қарастырылады. Микроқұрылымның эволюциясын сипаттау үшін, металдарды қысыммен өңдеудің әртүрлі процестерін зерттеуде кеңінен қолданылатын, Джонсон-Мейль-Аврами-Колмогоровтың феноменологиялық моделіне негізделген сандық модельдеу әдісі таңдалды (JMAK моделі). DEFORM 3D бағдарламалық кешенінде дәстүрлі және жаңа схема бойынша илемдеу процесін шекті-элементтік модельдеу орындалды, динамикалық қайта кристалдану моделін пайдалана отырып, AISI 316 болатына арналған микроқұрылым параметрлері есептелді. Дәстүрлі және жаңа схема бойынша прокаттау кезінде алынған материалдардың

түйіршіктерінің орташа өлшемдерінің шамасы мен көлденең қимада таралу сипатына салыстырмалы талдау жүргізілді. Модельдеу нәтижелері бойынша «овал-дөңгелек» калибрлер жүйесінде прокаттау кезінде қарқынды ығысу деформацияларын іске асыру дәстүрлі прокаттау схемасымен салыстырғанда жолақтың бүкіл қимасы бойынша неғұрлым қарқынды және біркелкі ұнтақтауды қамтамасыз ететіні анықталды. Дәстүрлі схема бойынша прокаттау кезінде қима бойынша металдың механикалық қасиеттерінің біркелкі еместігін растау алынды. Жаңа илемдеу схемасының ақаулардан көп зардап шеккен бастапқы дайындаманың учаскелерін өңдеудегі тиімділігі дәлелденді.

Кілтті сөздер: прокаттау, калибр, шекті элементтер әдісі, пластикалық деформация, металл микроструктурасы, JMAK моделі.

***К. А. Ногаев, Ж. А. Ашкеев, М. Ж. Абишкенов, Г. Е. Ахметова, А. У. Камаров** Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau
Received 10.06.2024.

Received in revised form 10.06.2024.

Accepted for publication 11.06.2024.

SIMULATION OF THE EVOLUTION OF THE MICROSTRUCTURE OF STEEL DURING SHEAR ROLLING IN CALIBRATED ROLLS

The article considers one of the urgent tasks in the field of metal pressure treatment – the study of patterns of microstructure changes during the implementation of intense shear deformations during rolling in the oval-circle gauge system. To describe the evolution of the microstructure, a numerical modeling method was chosen based on the phenomenological Johnson-Mail-Avrami-Kolmogorov model (JMAK model), widely used in studies of various metal forming processes. In the DEFORM 3D software package, finite element modeling of the rolling process using the traditional and new schemes was performed, and the microstructure parameters for AISI 316 steel were calculated using a dynamic recrystallization model. A comparative analysis of the values and nature of the cross-sectional distribution of the average grain sizes of materials obtained by rolling according to the traditional and new scheme was carried out. Based on the modeling results, it was established that the implementation of intense shear deformation during rolling in the oval-circle gauge system provides more intense and uniform grain refinement over the entire cross-section of the strip compared to the traditional rolling scheme. Confirmation of the heterogeneity of the mechanical properties of the metal across the cross section during rolling according to the traditional scheme was obtained. The effectiveness of the new rolling scheme in working out the areas of the original billet most affected by defects has been proven.

Keywords: rolling, gauge, finite element method, plastic deformation, metal microstructure, JMAK model.

**А. Х. Нурумғалиев¹, *Т. Т. Жүнісқалиев¹, Б. Каган²,
Т. Р. Тушиев¹, Е. А. Мыңжасар¹**

¹Қарағанды индустриялық университеті, Қазақстан, Теміртау қ.;

²Ыстамбұл техникалық университеті, Түркия, Ыстамбұл қ.

*e-mail: talgat.zhuniskaliev@mail.ru

**FE-SI-MN-AL КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАСЫН
БАЛҚЫТУ ПРОЦЕСІН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

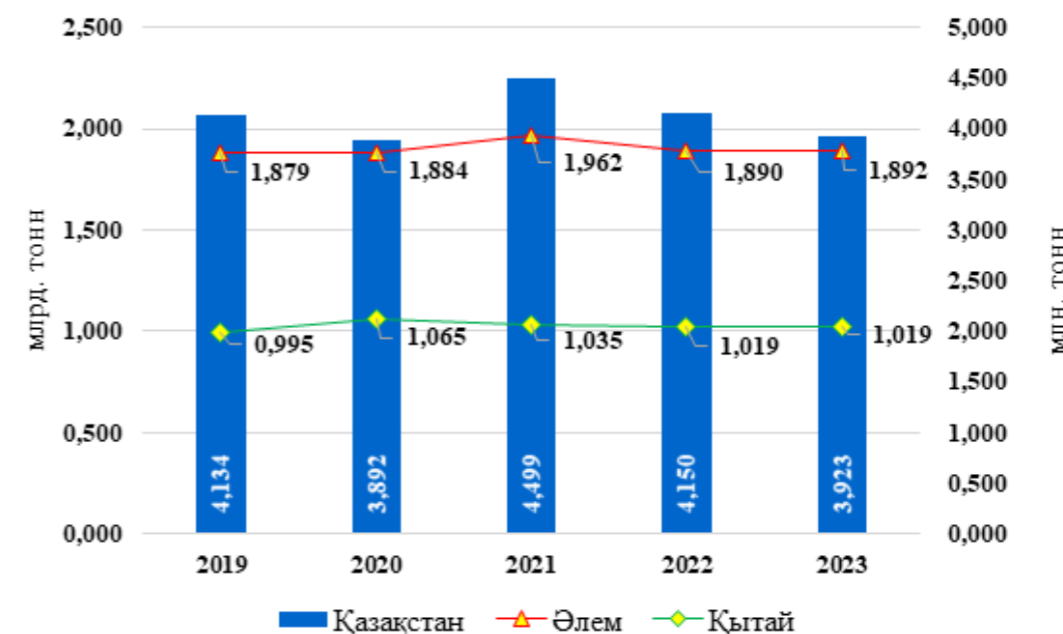
Термодинамикалық модельдеу процесінің оңтайлы параметрлерін анықтауға арналған HSC Chemistry бағдарламалық кешенінің көмегімен екінші реттік айналымы жоспарды (Бокс-Хантер жоспары) қолдана отырып жүргізілді. Бұл модельдеу физикалық және химиялық процестерді түсінуді жақсартуға көмектеседі, әртүрлі жағдайларда жүйенің әрекетін болжауға, процесті оңтайландыруға және эксперименттер үшін қажетті уақыт пен ресурстарды азайтуға мүмкіндік береді. «Брикет-Көмір-Кварцит» жүйесіндегі кремний, марганец пен алюминийдің тепе-теңдік таралуына температураның әсері анықталды. Термодинамикалық модельдеу көмегімен кремний мен марганецтің кешенді лигатураға өту дәрежесі, сондай-ақ қорытпадағы осы металдардың мөлшері анықталды. Ферроқорытпа саласында шикізатты кешенді өңдеудің тиімділігін арттыруға кен мен тотықсыздандырығыштан дайындалған брикеттер түріндегі шикіқұрамды қолдану да ықпал етеді. Біз кондициялық емес марганец шикізаты мен кокс ұнтағынан тұратын брикеттерді, жоғары күлді көмірді және кварцитті қолданып кешенді лигатураны балқытуды, одан әрі зертханалық кен-термиялық пешіндегі балқыту процесін модельдеуді ұсынамыз. Қуаттылығы 150 кВА дейінгі кен-термиялық электр пешінде марганец құрамды брикеттерді, жоғары күлді көмірді және кварцитті (химиялық құрамын реттеу және қалдық көміртегіні бейтараптандыру үшін) қолдана отырып балқыту жүргізілді. Кен-термиялық электр пешінде брикет пен жоғары күлді көмірді балқыту бойынша тәжірибелер нәтижесінде орташа құрамы 45,92–53,11 % кремнийден, 27,72–34,81 % марганецтен және 5,60–6,91 % алюминийден тұратын кешенді лигатура алынды.

Кілтті сөздер: термодинамикалық модельдеу; марганец құрамды брикет; жоғары күлді көмір; балқыту; кешенді лигатура.

Кіріспе

Қазіргі уақытта әлемдік болат өндірісі жылына шамамен 2 миллиард тоннаға жуық. Болат өндірісі бойынша әлемде жетекші орында Қытай - 1,02 млрд тоннамен тұр. Қазақстан болат өндіруші елдер арасында 37 орында. Еліміз 2019–2023 жылдары аралығына орташа есеппен алғанда 4,1 миллион тонна болат өндіріп келеді (1 сурет) [1]. Болаттың бәсекеге қабілеттілігінің негізгі факторларының бірі сапаны нашарлатпай, оның өзіндік құнын төмендету болып табылатыны белгілі.

Болаттың өзіндік құнын кондициялық емес шикізат материалдары мен жоғары күлді көмірлерден балқытылған ферросиликоалюминий, алюмосиликомарганец, алюмосиликохром және т.б. кешенді қорытпалар мен лигатуралар сияқты оттектендіргіштерді қолдану арқылы төмендетуге болады [2-4].



Сурет 1 – Әлем және Қазақстандағы болат өндірісі [1]

Болаттың сапасын марганец, кремний және алюминийден тұратын кешенді лигатуралар арқылы айтарлықтай жақсартуға болады. Бұл лигатуралар оттектендіру сатысында болатты оттегіден және металл емес кірінділерден тереңірек тазартуға ықпал етеді. Сонымен қатар, ферроқорытпалармен салыстырғанда кондициялық емес табиғи марганец құрамды және көміртегі құрамды шикізаттардан алынған кешенді лигатураларды қолдану металл өнімдерінің өзіндік құнын едәуір төмендетіп, оны бәсекеге қабілетті етеді [2–4].

Қазақстанның кондициялық емес марганец кендері мен жоғары күлді көмірлері негізіндегі кешенді лигатуралар өндіру перспективті бағыт болып табылады. Қазақстан марганец кендерінің қоры бойынша әлемде үшінші орынға ие, ол негізінен Орталық Қазақстанда орналасқан. Өндіріс тиімділігінің төмен болуына байланысты бұл кендерді алдын-ала өңдеусіз стандартты ферроқорытпалар үшін қолдану тиімді емес. Сондай-ақ, жоғары күлді көмірлерді металлургиялық өңдеуге тарту кешенді қорытпалар мен лигатураларды балқытудың тағы бір перспективті бағыты болып табылады.

Зерттеу әдістемесі

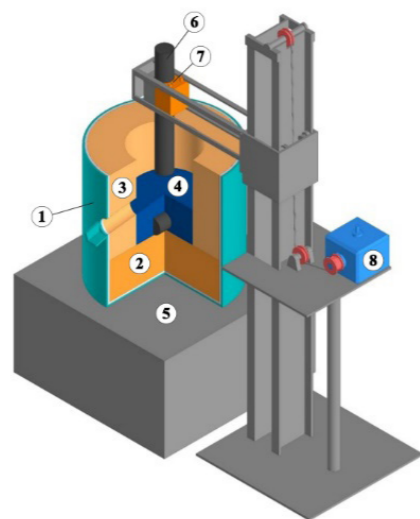
Жүйені термодинамикалық модельдеу Гиббс энергиясын азайтуға және термодинамиканың вариациялық принциптеріне негізделген HSC Chemistry (Outokumpu, Финляндия) бағдарламалық кешенін қолдану арқылы жүзеге

асырылды [5]. Бағдарламалық жасақтама SGTE (Scientific Group Thermodata Europe) консорциумының идеологиясы негізінде әзірленген. SGTE консорциумы Германия, Канада, Франция, Швеция, Ұлыбритания мен АҚШ-тың бейорганикалық және металлургиялық жүйелер үшін термодинамикалық мәліметтер базасын әзірлеумен және оларды практикалық мәселелерді шешуде қолданумен айналысатын ғылыми орталықтарынан тұрады. Көп компонентті тотық пен металл жүйесінің тепе-теңдік құрамы бағдарламалық кешеннің «Equilibrium Compositions» модулін қолдана отырып, 100°C қадаммен 500–2200°C температура аралығында және 1 атм. тең газ фазасының қысымында анықталды.

Элементтердің таралуының тепе-теңдік дәрежесін есептеу М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің ғалымдары әзірлеген әдістеме бойынша жүргізілді [6]. Кешенді лигатураның негізгі элементтерінің қорытпаға өтуі үшін оңтайлы шарттарды іздеу кезінде екінші реттік айналмалы жоспарларға (Бокс-Хантер жоспары) негізделген зерттеу әдісі қолданылды. Регрессияның сәйкестік тендеуі алынды және оңтайландыру параметрлерінің геометриялық бейнесін құрылды [6–10].

Марганец құрамды брикет пен «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірін қолдана отырып, Fe-Si-Mn-Al құрамды лигатураны балқыту бойынша зертханалық сынақтар түбі тоқ өткізетін екі электродты кен-термиялық электр пешінде жүргізілді [11–13]. Бір электрод пеш түбінде орналасқан. Құрастырылған кен-термиялық зертханалық электр пешінің 3D моделі 2-суретте көрсетілген.

Шикіқұрам материалдары ретінде марганец құрамды брикет, жоғары күлді көмір және кварцит қолданылды. Шикіқұрам қоспасынағы кварцит металдың химиялық құрамын реттеу және қалдық көміртегіні бейтараптандыру үшін қолданылды. Шикіқұрам материалдарының техникалық және химиялық құрамы 1 және 2-кестелерде келтірілген.



Сурет 2 – Кен-термиялық зертханалық электр пешінің 3D моделі

1 – пеш қаптамасы; 2, 3 – отқа төзімді материалдар (кірпіш); 4 – пеш түбі; 5 – төменгі электрод; 6 – электрод; 7 – электрод ұстағыш; 8 – электрод ұстағыш механизмі

Кесте 1 – Шикіқұрам материалдарының техникалық құрамы, %

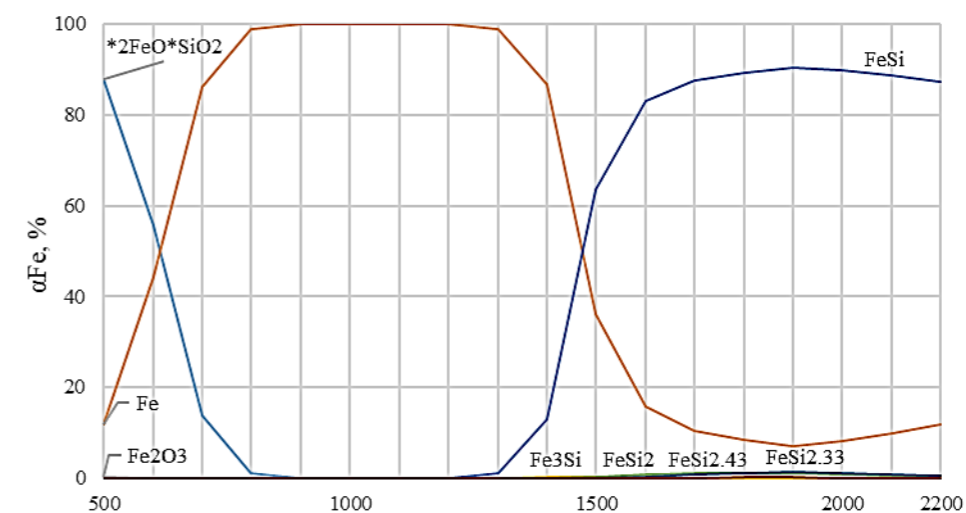
Материал	A*	V†	W*	C _κ
Көмір	50,04	19,28	1,98	31,86
Брикет	63,01	14,94	5,58	16,47

Кесте 2 – Шикіқұрам материалдарының химиялық құрамы, %

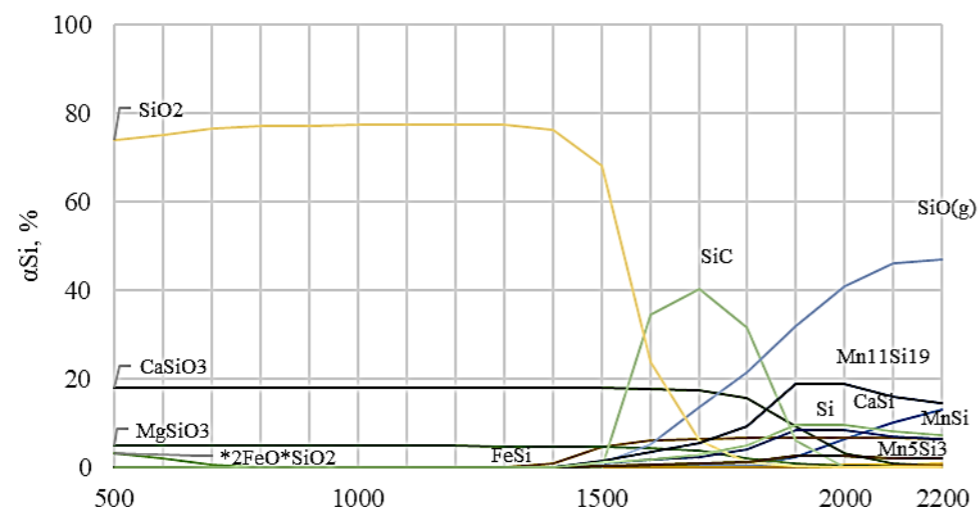
Материал	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S	қшш
Көмір	5,79	66,36	20,7		2,64	3,46	1,01			0,035	0,005	
Брикет	6,41	18,9	1,96	53,71	16,53	1,02	0,02	0,02	1,34	0,04	0,05	
Кварцит	0,52	95,57			0,24	0,12					0,01	3,54

Зерттеу нәтижелерін талдау

3–6 суреттерде 100 кг брикет, 80 кг көмір мен 29,8 кг кварциттен (БКК) құралған шикіқұрамнан тұратын қарастырылып отырған жүйедегі темірдің, кремнийдің, марганецтің, алюминийдің және түзілген компоненттердің сандық (кг) таралуына температураның әсері көрсетілген. Алынған нәтижелерден қорытпадағы темір 1300 °C температурада түзіле бастайтын FeSi түрінде болады деп айтуға болады (3-сурет). Сонымен қатар басқа да темір силицидтері аз мөлшерде түзіледі: Fe₃Si, FeSi₂, FeSi_{2,43} және FeSi_{2,33}. Кремний темір силицидтерінен басқа марганец силикаттары түрінде және еркін түрде де кездеседі (4-сурет).

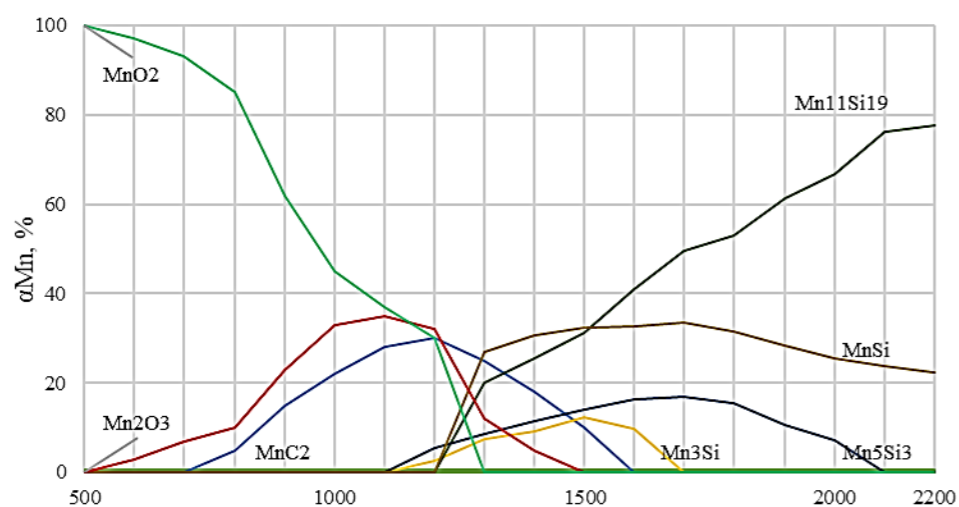


Сурет 3 – БКК жүйесіндегі темірдің таралуының тепе-теңдік дәрежесіне температураның әсері

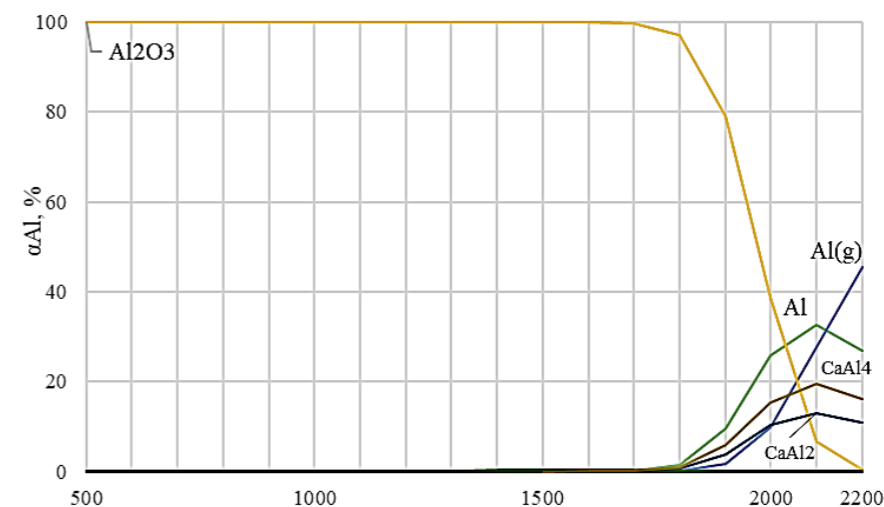


Сурет 4 – БКК жүйесіндегі кремнийдің таралуының тепе-теңдік дәрежесіне температураның әсері

Термодинамикалық модельдеу нәтижелеріне сәйкес марганец құрамды заттар (5-сурет) тепе-теңдік жағдайда марганец силицидтері түрінде болады: $Mn_{11}Si_{19}$, $MnSi$, Mn_5Si_3 , Mn_3Si . Марганец силицидтерінің барлық массасының негізгі бөлігі $Mn_{11}Si_{19}$ тұрады. Алюминий құрамында заттар тепе-теңдік жағдайда $CaAl_2$, $CaAl_4$ және Al түрінде болады. Бұл заттар 1700–1800 °C бастап түзіле бастайды (6-сурет).

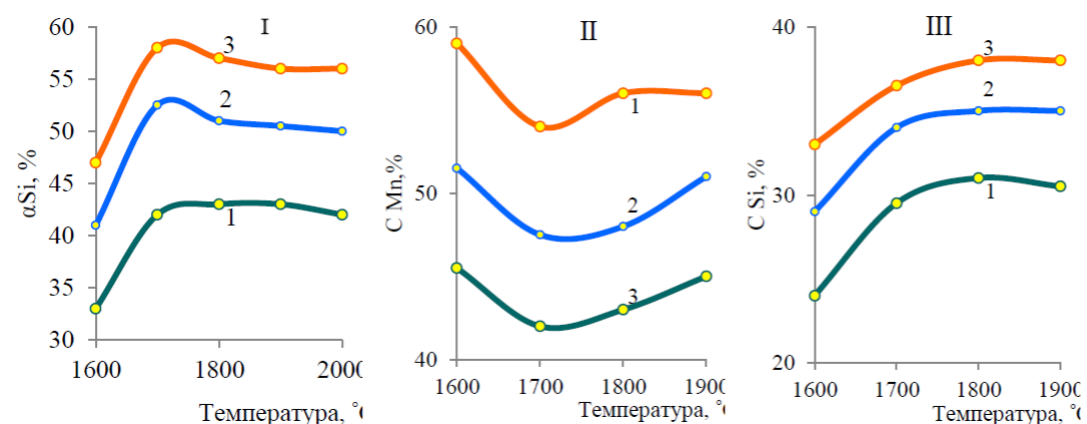


Сурет 5 – БКК жүйесіндегі марганецтің таралуының тепе-теңдік дәрежесіне температураның әсері



Сурет 6 – БКК жүйесіндегі алюминийдің таралуының тепе-теңдік дәрежесіне температураның әсері

7-суретте температураның, кварцит пен көмір мөлшерінің кремнийді қорытпаға бөліп алуының тепе-теңдік дәрежесіне және қорытпадағы кремний мен марганецтің мөлшеріне әсері көрсетілген. Марганецтің қорытпаға өту дәрежесі көрсетілмеген, себебі іс жүзінде 1567 °C температурада барлық марганец қорытпаға өтеді. Көмірдің 40 %-дан 120 %-ға дейін жоғарылауы кезінде кремнийдің қорытпаға өту дәрежесі артатыны байқалды (7-сурет, I). Мысалы, 1800 °C температурада 42,43 %-дан 59,55 %-ға дейін. Сонымен қатар, температура 1700–1800 °C жоғарылаған кезде кремнийді қорытпаға бөліп алу дәрежесі біршама төмендейді. Қорытпадағы кремний мөлшері көмірдің мөлшеріне де байланысты. Сонымен, 1800 °C температурада қорытпадағы кремний мөлшері 8,3 %-ға артады (30,2 %-дан 38,5 %-ға дейін). Температураның қорытпадағы марганец мөлшеріне әсері неғұрлым күрделі тәуелділікке ие. Бұл тәуелділік 1700 °C температурада көмір мөлшерінің 40 %-дан 120 %-ға дейінгі аралығында минимумға ие болады. Шикіқұрамда көмірдің көлемі артқан кезде қорытпадағы марганец мөлшері төмендейді (кремнийдің тотықсыздану процесінің дамуына байланысты). Мысалы, 1800 °C температурада 56,6 %-дан 48,84 %-ға дейін.

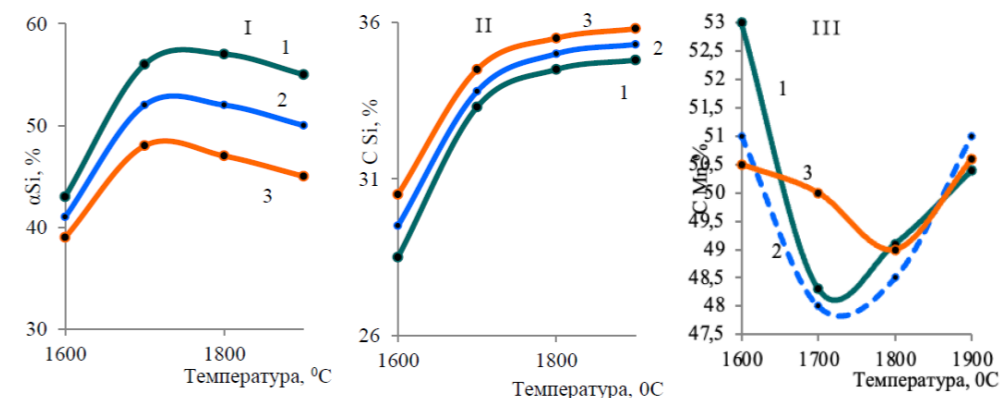


көміртегі мөлшері, %: 1-40%; 2-80%; 3-120%

Сурет 7 – Температура мен көміртегі мөлшерінің кремнийді қорытпаға бөліп алуға (I), қорытпадағы марганец (II) пен кремнийдің (III) мөлшеріне әсері

Көмірдің 28% тұрақты мөлшерінде және кварцит мөлшерінің жоғарылауы кезінде кремнийді қорытпаға бөліп алу дәрежесі төмендейді (7-сурет, II). Мысалы, 1800 °C температурада 56,24 %-дан 47,23 %-ға дейін. $\alpha_{Si} = f(T)$ тәуелділігі 1800°C температурада максимумға ие болады. Шикіқұрамдағы кварциттің жоғарылауы кезінде қорытпадағы кремний мөлшері аздап артады. Температура мен кварциттің қорытпадағы марганец мөлшеріне әсері неғұрлым күрделі тәуелділікке ие. Марганецтің жоғарғы мөлшері 1600 °C температурада, яғни кремнийдің тотықсыздануы әлі дамымаған кезде байқалады. Марганецтің төменгі мөлшері 1700–1800 °C температурада байқалады.

8-суреттен көмірдің көлемі жоғарылаған кезде қорытпадағы алюминий мөлшері жоғарылайтыны, ал кварциттің көлемі жоғарылаған кезде төмендейтіні байқалады. Қорытпадағы алюминийдің жоғарғы мөлшері (6,1%) 2000 °C температурада және 120 % көмірде байқалады. Көміртегінің тұрақты мөлшерінде шикіқұрамдағы кварциттің жоғарылауы кремнийді қорытпаға бөліп алу дәрежесін төмендетеді. Мысалы, 1800 °C температурада 56,2 %-дан 47,2 %-ға дейін.



кварцит мөлшері, %: 1-20%; 2-28%; 3-36%

Сурет 8 – Температура мен кварцит мөлшерінің кремнийді қорытпаға бөліп алуға (I), қорытпадағы кремний (I) мен марганец (II) мөлшеріне әсері

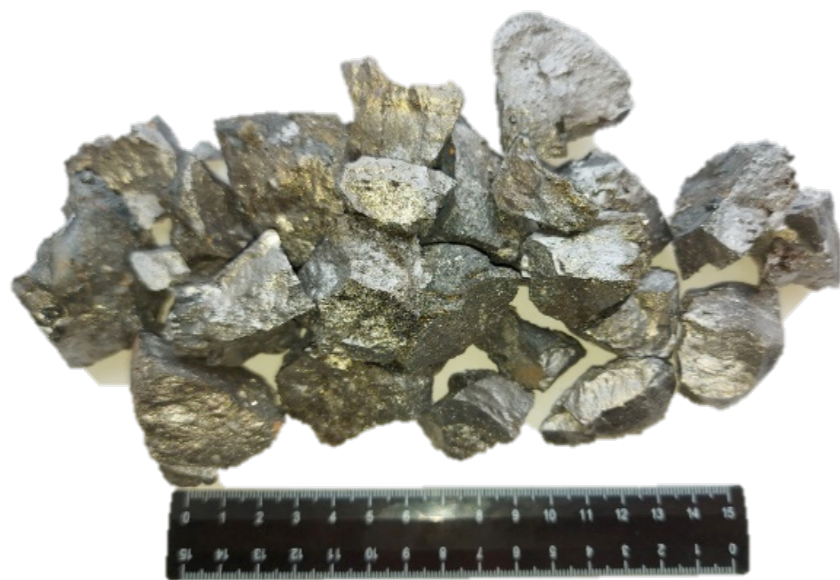
Балқыту қуаттылығы 150 кВА кен-термиялық электр пешінде жүргізілді [2, 4, 12-13]. Балқыту пеш колошнигінің көлемі азайған сайын шикіқұрамды шағын бөліктеп үздіксіз жүктеу әдісімен жүргізілді және қорытпа әр 2 сағаттық мерзімде шойын қалыптарға шығарылып отырды. Брикеттің тұрақты шығынымен (100 кг) балқыту кезеңінде балқыманың 12 шығарылымы алынды, онда түзету тек жоғары күлді көмірдің шығыны бойынша жүргізілді: 60, 80 және 100 кг. Қалдық көміртегіні бейтараптандыру үшін кварцит қолданылды. Алынған Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасының орташа химиялық құрамы 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3 – Кешенді лигатурасының орташа химиялық құрамы, %

Жоғары күлді көмірдің шығыны, кг	Химиялық құрамы, %			
	Fe	Si	Mn	Al
60	7,42	45,92	34,81	5,60
80	7,19	49,92	30,86	6,33
100	7,01	53,11	27,72	6,91

3-кестеден көмірдің шығыны артқан кезде қорытпадағы кремний мөлшері айтарлықтай жоғарылайтынын көруге болады. Бұл көмір күліндегі SiO₂ мөлшерінің 67,05 % болуына байланысты. Сонымен қатар, шикіқұрамда көмір мөлшерінің артуымен қалдық көміртегі жоғарылайды, оны бейтараптандыру үшін қажетті кремнийдің түзілуі үшін кварцит қосылады. 8-суретте 100 кг марганец құрамды брикеттен, 80 кг жоғары күлді көмірден және 39,38 кг кварциттен алынған кешенді лигатура көрсетілген. Алынған қорытпаны кремний (45–53) және марганец (27–72) мөлшері бойынша стандарттарға сәйкес ферросиликомарганецке жатқызуға болмайды. Сондықтан алынған қорытпаны болаттың тыныш және жартылай тыныш маркаларын оттектендіру үшін тиімді түрде қолдануға

мүмкіндік беретін бірнеше белсенді элементтерден (Si, Mn, Al) тұратын кешенді лигатураға сенімді түрде жатқызуға болады.



Сурет 9 – Марганец құрамды брикеттен, «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірінен және кварциттен алынған Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпасы

Қорытынды

Тепе-теңдік жағдайда термодинамикалық модельдеу нәтижелеріне негізінде кремнийден, марганецтен және алюминийден тұратын кешенді лигатураны марганец құрамды брикеттен қожсыз әдіспен алу мүмкіндігі көрсетілген. «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірі тотықсыздандырғыш ретінде қолданылды. Есепті-теориялық әдістің, модельдеудің және зертханалық эксперименттердің нәтижелеріне сәйкес анықталды:

1300 °С температурада марганец құрамды брикет жоғары күлді көмірмен әрекеттескенде темір мен марганец силицидтерінен тұратын қорытпаның түзілуі басталады. Қорытпаның негізгі фазалары – FeSi және $Mn_{11}Si_{19}$, Fe_3Si , $FeSi_2$, $FeSi_{2.43}$ және $FeSi_{2.33}$, $MnSi$, Mn_5Si_3 , Mn_3Si . 1700–1800 °С температура аралығында алюминий құрамды фазалар $CaAl_2$, $CaAl_4$ түзіле бастайды;

шикіқұрамдағы көмір мөлшерінің 40 %-дан 100 %-ға дейін артуы кремнийдің қорытпаға өту дәрежесін 42,43 %-дан 59,55 %-ға дейін арттырады. Қорытпадағы кремний мөлшері 27,4 %-ға артады (30,2 %-дан 38,5 %-ға дейін);

шикіқұрамдағы көмірдің мөлшерінің артуы қорытпадағы марганец мөлшерінің 56,6 %-дан 48,84 %-ға дейін төмендеуіне әкеледі, бұл кремнийдің тотықсыздану процесінің дамуына байланысты;

шикіқұрамдағы кварциттің артуы кремнийді бөліп алуға, қорытпадағы кремний мөлшеріне іс жүзінде әсер етпейді, дегенмен қорытпадағы марганец мөлшеріне айтарлықтай әсер етеді және кремнийдің тотықсыздануы әлі түзілмеген

кезде 1600 °С температурада жоғарғы мәнге жетеді. 1800 °С температурада және шикіқұрамдағы көмірдің 28 % тұрақты мөлшерінде кварциттің жоғарылауы кезінде кремнийді қорытпаға бөліп алу дәрежесі 56,24 %-дан 47,23 %-ға дейін төмендейді. Көмір мөлшерінің артуымен алюминий мөлшері жоғарылайды, ал кварцит артқан сайын төмендейді. Қорытпадағы алюминийдің жоғарғы мөлшері (6,1 %) 2000 °С температурада және 100 кг көмір мөлшерінде байқалады;

1700–1800 °С температурада қорытпадағы кремний мөлшері 29–38,8 % құрайды. Осы көрсеткішке сүйене отырып, қорытпа $FeMnSi_{28}$ (Si 28–30%) немесе MnC_{25} (Si >25%) ферроқорытпаларына сәйкес келетінін байқаймыз. Алайда, марганец мөлшері бойынша (41,9–57,2%) қорытпа стандартқа сәйкес келмейді. Ферросиликомарганецтегі марганец мөлшері 60–75 % болуы керек.

Стандартқа сай емес шикізатты (1-кесте) қолдана отырып, 1700–1800 °С температура аралығында алынған қорытпалар химиялық құрамы бойынша МемСт 4756–91 (ISO 5447–80) сәйкес ферросиликомарганец қорытпаларына жатпайды. Оларды болаттың тыныш және жартылай тыныш маркаларын оттектендіруге тиімді түрде қолдануға болатын кремний, марганец және алюминий сияқты белсенді элементтерге ие жаңа кешенді лигатура ретінде қарастыруға болады.

Марганец құрамды брикеттер мен және жоғары күлді көмірлерден Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын алу технологиясын сынау қуаттылығы 150 кВА зертханалық пешінде жүргізілді және қорытпалардың оңтайлы құрамы мен элементтерді бөліп алу орнатылды: %: Si 75–85, Al 60–70, Mn–80–87.

Жүргізілген эксперименттік сынақтар ұсынылған шикіқұрам материалдарын қолдана отырып, Fe-Si-Mn-Al негізіндегі кешенді қорытпаларды балқытудың принципті мүмкіндігін көрсетеді: олар тыныш және жартылай тыныш болат маркаларын оттектендіруге тиімді түрде қолданылуы мүмкін.

Қаржыландыру туралы ақпарат. Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитеті қаржыландыратын зерттеу аясында жүзеге асырылды (грант № AP13068023).

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Дүниежүзілік болат қауымдастығының сайты // Шикі болаттың жалпы өндірісі. – [Электрондық ресурсы]. – URL: https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/annual-production-steel-data/?ind=P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND (жүгінген күні: 12.03.2024).

2 **Медведев, Г. В., Такенов, Т. Д.** Сплав АМС. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1979. – 140 с.

3 **Gasik, M.** Handbook of ferroalloys: theory and technology. – Butterworth-Heinemann, 2003. – 509 с., <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04204-7>

4 **Друинский, М. И., Жучков, В. И.** Получение сложных ферросплавов из минерального сырья Казахстана. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1988. – 208 с.

5 **Roine, A.** Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium lift ware with Extensive Thermo chemical Database. – Pori: Outokumpu Research OY, 2002.

6 **Шевко, В. М., Сержанов, Г. М., Каратаева, Г. Е., Аманов, Д. Д.** HSC- 5.1 бағдарламалық пакетіне қатысты элементтердің тепе-теңдік таралуын есептеу // Компьютерлік бағдарлама. Авторлық куәлік 29 қаңтар 2019 ж. тіркелген, № 1501.

7 **Ахназарова, С. Л., Кафаров, В. В.** Методы оптимизации эксперимента в химической промышленности : учеб. пособ. 2-е изд. М. : Высшая школа, 1985.

8 **Очков, В. Ф.** Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов. – БХВ-Петербург, 2007.

9 **Shevko, V. et al.** Complex electrothermal processing of an oxide zinc-containing ore of the Shaymerden deposit //Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2018. – Т. 54.

10 **Shevko, V. et al.** Research paper theory and technology of manufacturing a ferroalloy from carbon ferrochrome dusts //Acta Metallurgica Slovaca. – 2021. – Т. 27. – №. 1. – С. 23–27.

11 **Абдуллабеков, Е. Э., Каскин, К. К., Нурумғалиев, А. Х.** Технологические расчеты по производству ферросплавов, Алматы: Республиканский издательский кабинет по учебной и методической литературе. 2010. – 225 с.

12 **Mukhambetgaliev, E. K., Esenzhulov, A. B., Roshchin, V. E.** Production of complex alloy from high-silicon manganese ore and high-ash coals of kazakhstan // Известия высших учебных заведений Черная металлургия. – 2018. – Т. 61. – №. 9. – С. 700.

13 **Mukhambetgaliev, Ye., Baysanov, S., Baysanov, A., Yugay, N., Zhiembaeva, D., Tolokonnikova, V.** Evaluation of physical and chemical properties of charge materials from the point of possibility of receiving the alloy of aluminosilicomanganese // Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferroalloys Congress: Efficient Technologies in Ferroalloy Industry, 2020. P. 317–323.

07.06.2024 ж. баспаға түсті.

11.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.

14.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

REFERENCES

1 Site of the World Steel Association [Dyniezhizilik bolat qauymdastygynyn saity // Shiki bolattyn zhalpy ondirisi.] // Total production of crude steel. – [Electronic resource]. – URL: https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/annual-production-steel-data/?ind=P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND (date of application: 12.03.2024).

2 **Medvedev, G. V., Takenov, T. D.** AMS alloy [Splav AMS]. – Alma-Ata: Science of the KazSSR, 1979. – 140 p.

3 **Gasik, M.** Handbook of ferroalloys: theory and technology. –Butterworth-Heinemann, 2003. – 509 с., <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04204-7>.

4 **Druinsky, M. I., Zhuchkov, V. I.** Production of complex ferroalloys from mineral raw materials of Kazakhstan [Poluchenie slozhnykh ferrosplavov iz mineralnogo syrya Kazakhstana]. – Alma-Ata: Science of the KazSSR, 1988. – 208 p.

5 **Roine, A.** Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium lift ware with Extensive Thermo chemical Database. – Pori: Outokumpu Research OY, 2002.

6 **Shevko, V. M., Serzhanov, G. M., Karataeva, G. E., Amanov, D. D.** Calculation of the equilibrium distribution of elements related to the HSC-5.1 software package [HSC- 5.1 bagdarlamalyq paketine qatysty elementterdin tepe-tendik taraluyn esep-teu] // Computer program. Copyright January 29, 2019. registered, No. 1501.

7 **Akhazarova, S. L., Kafarov, V. V.** Methods for optimizing experiments in the chemical industry: textbook. allowance 2nd ed. [Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoi promyshlennosti: ucheb. posob. 2-e izd] M.: Higher School, 1985.

8 **Ochkov, V. F.** Mathcad 14 for students, engineers and designers [Mathcad 14 dlya studentov, inzhenerov i konstruktorov]. – BHV-Petersburg, 2007.

9 **Shevko, V. et al.** Complex electrothermal processing of an oxide zinc-containing ore of the Shaymerden deposit //Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2018. – Т. 54.

10 **Shevko, V. et al.** Research paper theory and technology of manufacturing a ferroalloy from carbon ferrochrome dusts //Acta Metallurgica Slovaca. – 2021. – Т. 27. – №. 1. – С. 23–27.

11 **Abdullabekov, Y., Kaskin, K., Nurumgaliev, A.** Technological calculations for the production of ferroalloys [Texnologicheskie raschety` po proizvodstvu ferrosplavov], Almaty: Republican publishing office for educational and methodological literature. 2010. – 225 p.

12 **Mukhambetgaliev, E. K., Esenzhulov, A. B., Roshchin, V. E.** Production of complex alloy from high-silicon manganese ore and high-ash coals of kazakhstan // Известия высших учебных заведений Черная металлургия. – 2018. – Т. 61. – №. 9. – С. 700.

13 **Mukhambetgaliev, Ye., Baysanov, S., Baysanov, A., Yugay, N., Zhiembaeva, D., Tolokonnikova, V.** Evaluation of physical and chemical properties of charge materials from the point of possibility of receiving the alloy of aluminosilicomanganese // Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferroalloys Congress: Efficient Technologies in Ferroalloy Industry, 2020. – P. 317–323.

*А. Х.Нурумғалиев¹, *Т. Т. Жүнісқалиев¹, Б. Казан²,
Т. Р. Тушиев¹, Е. А. Мыңжасар¹*

¹Карагандинский индустриальный университет, Казахстан, г. Темиртау;

²Стамбульский технический университет, Турция, г. Стамбул.

Поступило в редакцию 07.06.2024.

Поступило с исправлениями 11.06.2024.

Принято в печать 14.06.2024.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ КОМПЛЕКСНОЙ ЛИГАТУРЫ FE-SI-MN-AL

Термодинамическое моделирование было проведено с использованием программного пакета HSC Chemistry для определения оптимальных параметров процесса, применяя вращающийся план второго порядка (план Бокса-Хантера). Данное моделирование способствует улучшению понимания физических и химических процессов, позволяет прогнозировать поведение системы в различных условиях, оптимизировать процессы и сокращать время и ресурсы, необходимые для экспериментов. Определены влияние температуры на равновесное распределение кремния, марганца и алюминия в системе «брикет-уголь-кварцит». Определены степень перехода кремния и марганца в комплексную лигатуру, а также содержание этих металлов в сплаве с помощью термодинамического моделирования. Повышение эффективности комплексной переработки сырья в ферросплавной отрасли также способствует использованию подготовленной шихты в виде брикетов из руды и восстановителя. Мы предлагаем выплавку комплексной лигатуры из брикета, состоящего из некондиционного марганцевого сырья, отсевов кокса, а также из высокозольного угля и кварцита, с последующим моделированием процесса выплавки в лабораторной руднотермической печи. Электроплавка проводилась с использованием марганецсодержащих брикетов, высокозольного угля и кварцита (для корректировки химического состава и нейтрализации остаточного углерода) в руднотермической электропечи мощностью до 150 кВ*А. В результате опытов по руднотермической электроплавке брикета с высокозольным углем была получена комплексная лигатура со средним содержанием кремния 45,92–53,11 %, марганца 27,72–34,81 % и алюминия 5,60–6,91 %.

Кілтті сөздер: термодинамическое моделирование; марганецсодержащий брикет; высокозольный уголь; плавление; комплексная лигатура.

*A. Nurumgaliyev¹, * T. Zhuniskaliyev¹, B. Kagan², T. Tushiev¹, E. Mynzhasar¹*

¹Karaganda Industrial University, Kazakhstan, Temirtau;

²Istanbul Technical University, Türkiye, Istanbul.

Received 07.06.2024.

Received in revised form 11.06.2024.

Accepted for publication 14.06.2024.

THERMODYNAMIC MODELING OF THE SMELTING PROCESS OF COMPLEX FE-SI-MN-AL MASTER ALLOY

Thermodynamic modeling was carried out using the HSC Chemistry software package to determine the optimal process parameters using a second order rotating design (Box-Hunter design). This modeling helps improve the understanding of physical and chemical processes, allows you to predict the behavior of a system under various conditions, optimize processes and reduce the time and resources required for experiments. The influence of temperature on the equilibrium distribution of silicon, manganese and aluminum in the briquette-coal-quartzite system was determined. The degree of transition of silicon and manganese into the complex alloy, as well as the content of these metals in the alloy, were determined using thermodynamic modeling. Increasing the efficiency of complex processing of raw materials in the ferroalloy industry is also facilitated by the use of prepared charge in the form of briquettes of ore and a reducing agent. We offer smelting of a complex master alloy from a briquette consisting of substandard manganese raw materials, coke screenings, as well as high-ash coal and quartzite, followed by modeling the smelting process in a laboratory ore-smelting furnace. Electric smelting was carried out using manganese-containing briquettes, high-ash coal and quartzite (to adjust the chemical composition and neutralize residual carbon) in an ore-thermal electric furnace with a capacity of up to 150 kVA. As a result of experiments on ore-thermal electric smelting of briquettes with high-ash coal, a complex master alloy with an average silicon content of 45.92–53.11 %, manganese 27.72–34.81 % and aluminum 5.60–6.91 % was obtained.

Keywords: thermodynamic modeling; manganese-containing briquette; high ash coal; melting; complex ligature.

МРНТИ 73.31.17

A. Zhandarbekova¹, K. Murzabekova^{2*}¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana,²Almaty Management University, Republic of Kazakhstan, Almaty*e-mail: mkaken@mail.ru**PROBLEMS OF ENSURING THE SAFETY OF PASSENGER
TRANSPORTATION IN THE CITY OF ASTANA**

The fight against road traffic accidents in large cities is of great social importance and is a matter of national importance. At the same time, the problem of ensuring the safety of public transport is of particular relevance due to the severe consequences of road accidents involving this category of vehicles. Thus, safety is one of the main factors ensuring high-quality passenger transportation services.

An acute problem of modern society is the insufficient provision of passenger transportation safety, which leads to an increase in road accidents and injuries on the roads.

One of the methods for studying the causes of road accidents is machine learning, which allows you to analyse data, remember information, make forecasts, reproduce ready-made models, and select the most suitable option from those proposed.

This study systematised and analysed the data of statistics of road accidents that occurred with the participation of public transport in the city of Astana for 2017 - 2020 and the most significant causes of their occurrence were established. The data set on the number of road accidents was analysed using the method of machine learning factorisation and analysis of the main components, which made it possible to reduce the data to key features.

Keywords: urban passenger transportation, bus fleets, road safety, accident analysis, road accidents, public transport, principal component analysis.

Introduction

Every year, more than one million people die around the world as a result of traffic accidents and about 20–50 million are injured or disabled [1]. Many countries pay special attention to the number of road accidents in order to identify the causes that contribute to their occurrence [2, 3]. The urban regular passenger transportation system is one that is of major socio-economic importance [2–5]. It is a concern not only in developing countries but also in the US and Europe [2]. The quality of a transportation system is characterised by the level of passenger satisfaction. Evidence suggests that bus crashes must be taken much more seriously [6].

The quality of the passenger road transportation system in I Astana meets the requests of its residents [7]. The solution to the problem of reducing the accident rate

of bus fleets (BF) that carry out urban and suburban regular passenger transportation is relevant. In this regard, regulation of activities to ensure traffic safety in cars, urban ground electric transport and in the road sector are the major points of safety issues in city transport traffic [8].

Kazakhstan's carriers are constantly faced with the lack of stable subsidies, which is one of the main disadvantages [9]. Kazakhstan's passenger traffic system is experiencing a high decline of the BFs, as approximately 60 % out of approximately 12000 buses across the country have greatly deteriorated. Unfortunately, the BF is updated annually by only 3–5 % instead of the required 20 %. Another obstacle to the country's passenger traffic system is the rising prices on fuel, lubricants, and spare parts; hence, the industry has become unprofitable and is not developing. As a result, Kazakhstan's carriers have accumulated huge debts and are often no longer able to serve the population [10]. This situation is developing both in private and municipal parks [10].

Materials and methods

In recent years, there have been significant changes in the structure of passenger transport in the capital city of Kazakhstan Astana. Since 2018, the city's BFs have started to put into operation modern buses (Table 1). For example, the BF1 has replaced more than 700 buses with electric buses. About 71 % of total passenger traffic in the capital city is served by BF1, which has 41 urban, 24 suburban and six express routes. Therefore, additional bus drivers, repair personnel, engineering, and technical workers have been trained. Moreover, with an increase in population density in Astana, the number of cars and passenger transport has increased. Additionally, on public passenger transport an electronic payment system on public transport has been introduced and new labour relations are being introduced between drivers and managers of the BF.

Table 1– Number of buses and drivers in the car parks of Astana

Bus Fleets	Number of buses	Percentage	Number of drivers	Percentage
BF1- JSC «Bus Fleet №1»	728	65	1069	72,8
BF3 - LLP «Bus Fleet №3 SK»	140	12,5	159	10,8
BF4 - LLP «Bus Fleet №4 SK»	90	8,0	100	6,8
BF5 - LLP «Bus Fleet №3 SK BUS»	14	1,3	17	1,2
BF6 - LLP «Zhorga MT»	61	5,4	66	4,5
BF7 - LLP «Bus Fleet №7»	87	7,8	58	3,9
Total	1120	100	1469	100

Yet despite all these efforts, the road accident rate in the Kazakhstan's capital remains high. There are also problems in passenger traffic organisation and control. Thus, in the city's passenger transportation system systematic problems have accumulated, which clearly shows the increasing level of road accidents [10]. According to the statistical data of LLP «City Transportation System», BF1 drivers had 2175 road accidents between 2017 and 2020 (Table 2). On March 26, 2019, a major tragedy took place in Astana, involving several buses in a road accident (Fig. 1). There were 35 people injured and

two died. After this road accident, the inspection of regular urban, suburban passenger traffic was taken under special control [11].



Figure 1 – Photos from the scene of the road accident involving urban passenger transports (March 26, 2019, Astana). Sources: informburo.kz [11.]

Subsequently, an action plan was approved to ensure traffic safety in urban passenger transport. Vehicle fleets activities were analysed and assessed to ensure traffic safety, and in 2019, a comparative analysis of these measures showed an improvement. For example, from February to March in 2019, there was a gradual fall in the number of offences as the number of on-the-spot-fines increased (Fig. 2).

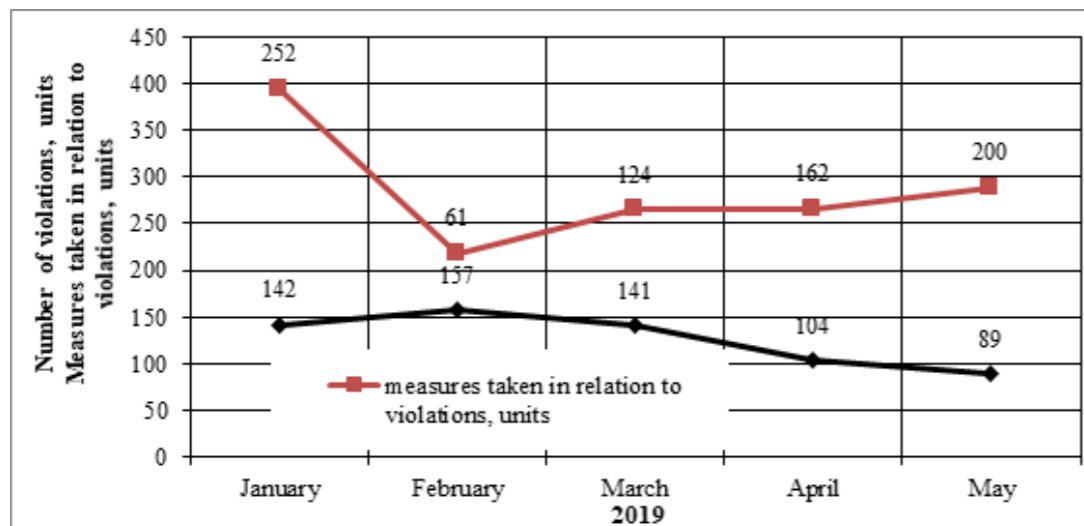


Figure 2 – The number of road accidents and penalty points from January to May in 2019

In this investigation, the Singular Value Decomposition (SVD) method was used to describe and analyse the number of accidents. This method is one of the most well known in numerical linear algebra and allows reducing dimensional data into the key

features that are necessary for describing. A data matrix in SVD factorisation defines as a collection of column vectors $x_1 x_2 \dots x_m$:

$$X = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1 x_2 & \dots & x_m \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} = U \Sigma V^T,$$

where: U – left singular vectors matrix, Σ – singular values matrix, V^T right singular vectors matrix. This factorisation is also the basis for the PCA, which is one of the most widely used techniques in all statistics for taking high dimensional data and trying to understand it in terms of its dominant patterns or correlations.

Results

The number of road accidents that occurred in the urban passenger transport of Astana between 2017 and 2020 was taken as initial data (Table 2). As can be seen from Table 2, the means and standard deviations are very different, as they have a different spread. There are strong correlations between the independent variables (Fig.3), which leads to the problem of multicollinearity. The analysis of such data may lead to inaccuracies and the estimates for the models may be unstable. The data in Table2 is poorly visualised, but the PCA technique allows us to recognise the dominant correlations. The data was centred, and then straight lines were found that best describe the new data:

$$PC1 = -0.47v1 - 0.52v2 - 0.51v3 - 0.50v4$$

$$PC2 = 0.82v1 - 0.003v2 - 0.26v3 - 0.51v4$$

$$PC3 = -0.30v1 + 0.56v2 + 0.37v3 - 0.68v4$$

$$PC4 = 0.11v1 - 0.65v2 + 0.73v3 - 0.180v4$$

The first principle component includes data between 2017 and 2020 with approximately the same weights. The second principle component mostly is defined by data in 2017. The results of PCA are shown in Table 3. The first two components made it possible to visualize the results, because PC1 contains 93 % of the original data variance. PC1 and PC2 together explain 99.57 % of data variance (Table 3). The remaining components account for only 0.43% of the variance. The first principal component includes data between 2017 and 2020 with approximately the same weights. The second principal component mostly is mostly defined by data from 2017. The results of PCA are shown in Table 3. The first two components made it possible to visualise the results, because PC1 contains 93 % of the original data variance. PC1 and PC2 together explain 99.57 % of data variance (Table 3). The remaining components account for only 0.43 % of the variance.

Table 2 – Number of road accidents attributed to BF drivers

Bus Fleets	Number of road accidents by years				Total
	2017	2018	2019	2020	
BF1- JSC «Bus Fleet №1»	403	724	658	390	2175
BF2' - JSC «Bus Fleet №2»	158	135	87	1	381
BF3 - LLP «Bus Fleet №3 SK»	318	352	257	97	1024
BF4 - LLP «Bus Fleet №4 SK»	270	189	131	72	662
BF5 - LLP «Bus Fleet №3 SK BUS»	25	20	23	12	80
BF6 - LLP «Zhorga MT»	64	62	79	38	243
BF7 - LLP «Bus Fleet №7»	70	101	89	59	319
Total	1346	1632	1324	669	4971

* BF2 has suspended its activities since 2021 after COVID-19 restrictions

Fig.4 shows that the correlations between the data in 2018, 2019, and 2020 are positive. The data in 2017 is slightly different. In Fig.4 there are two special points [-3.9454, -0.4466] and [1.6595, -0.4027], which correspond to BF1 which is the biggest bus fleet and BF5 which is the smallest one, respectively.

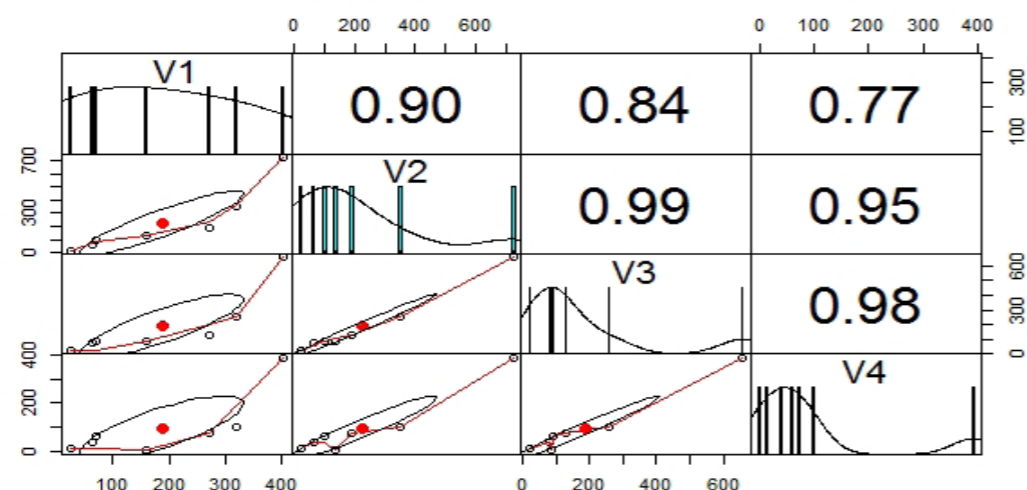


Figure – 3 Correlations between variables

During the observed period, the largest number of accidents (2175) was committed by BF1 drivers, because this bus fleet is the main carrier in the capital of the Republic of Kazakhstan, which accounts 65 % of the bus stock and 71 % of passenger traffic. During the observed period the smallest number (80) of accidents was committed by BF5 drivers. BF5 owns only 14 buses, serves only one route.

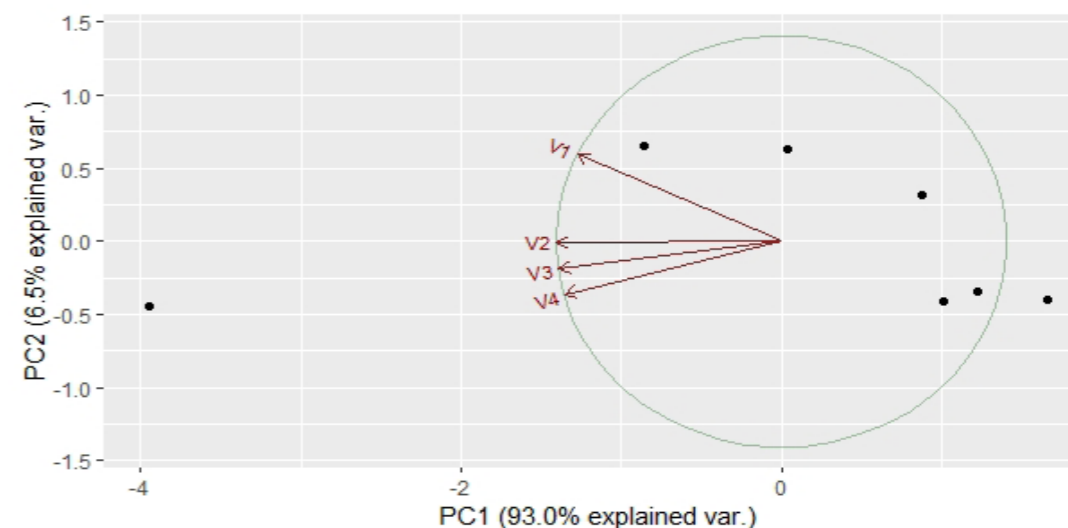


Figure 4 – Principal component vectors and

Table 3 – Centre, scale, and coefficients of principal components

variables	centre	scale	PC1	PC2	PC3	PC4
v1 (2017)	186.85714	145.2635	-0.4698277	0.82263090	-0.2999858	0.1120215
v2 (2018)	226.14286	244.4337	-0.5169938	-0.003759883	0.5565239	-0.6503725
v3 (2019)	189.14286	219.0924	-0.5132081	-0.256184669	0.3734896	0.7290352
v4 (2020)	95.57143	134.0558	-0.4985948	-0.507576272	-0.6788189	-0.1815884

Table 4 – PCA analysis of standard deviation, proportion of variance and cumulative proportion

	PC1	PC2	PC3	PC4
St. deviation	1.9291	0.51157	0.12707	0.02877
Variance	0.9303	0.06543	0.00404	0.00021
Cumulative	0.9303	0.99576	0.99979	1.00000

Discussion

Determinants of road traffic mortality in Switzerland were studied by Adrian Spoerri and others [12]. They linked 2000 census data to traffic mortality records between 2000 and 2005. Hazard ratios were calculated by using Weibull survival models and Bayesian statistics [12].

A descriptive analysis was used to classify the road accidents data of Rome districts between 2016 and 2019. The proposed predictive model can be used as a tool to plan measures [13]. Road accidents were distinguished by severity. The most important factors influencing traffic accidents were determined by using logistic regression analysis [14]. In [15] the objective and subjective risks were distinguished by the hazardous road sections on the state roads in Serbia. Then the comparative analysis took place. As a result, the reliable list of prioritised dangerous locations was proposed.

The relationships between traffic violations and road accidents were found using a multiple linear regression technique [16]. The data was collected in 31 intersections of two Chinese cities. The number of traffic accidents was taken as a dependent variable and seven types of traffic violations were taken as independent variables. The result of the linear regression showed that driving commercial vehicles, wrong-way entry, speeding, and traffic-light violation were significantly related to the number of road accidents [16]. In [17] the number of road violations was analysed by comparisons between urban and rural passenger transport. There were 14 indicators of bus drivers taken to find the impact on traffic violations using logistic regression.

In recent years, machine learning methods have been widely used. This research uses the classification method of SVD. As a result, the original data matrix was divided into clusters. The identified interpretations are recommended in the preparation of targeted road safety programmes.

Conclusion

The number of road accidents in 2021 is not included. One of the reasons for this is the decrease in the intensity of transport communications during the period of strict quarantine restrictions during the Covid-19 pandemic. The analysis shows that the data can be divided into three clusters. The first cluster includes BF1, where the level of road safety is characterised by the largest number of accidents (2175) between 2017 and 2020. BF1 owns 728 vehicles. The second cluster includes BF2, BF3, BF4, BF6, and BF7. In this cluster the number of road accidents is between 200 and 700. This cluster of BFs owns approximately 120-150 vehicles. The third cluster BF5 is characterised by the modest number of road accidents (80) during the observed period, and BF5 serves only one route.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank our colleagues from LLP «City Transportation System» and JSC «AstraBus», who kindly provided data.

REFERENCES

- 1 **Bhagyaiah, M., Shrinagesh, B.** Traffic Analysis and Road Accidents: A Case Study of Hyderabad using GIS IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 20 (2014), 012026.
- 2 Carlo Giacomo Prato, Sigal Kaplan. Bus accident severity and passenger injury : evidence from Denmark, European Transport Research Review, Open Access, Vol.6, 2014, pp. 17-30.
- 3 **Fabio Porcua, Alessandro Olivob, Giulio Materninic, Benedetto Barabinob.** Evaluating bus accident risks in public transport. Transportation Research Procedia, Vol.45, 2020, P. 443–450.
- 4 **Suleimanov, I. F., Mavrin, G. V., Kalimulina, M. R.** Increasing the availability of urban passenger transport on objective control data basis/ Journal of fundamental and applied sciences. 2017, Vol.9, Special issue, Appendix 2, P. 1067–1076.

5 **Yun Xiao, Haoyun Liu, Zijun Liang.** An Analysis of the Influential Factors of Violations in Urban-Rural Passenger Transport Drivers. Journal of Advanced Transportation, Open Access, Vol.2022, Article ID 1652923

6 **Zhandarbekova, A. M., Shaimerdenov, S. E., Murzabekova, K. A.** To solving the problem of ensuring traffic safety in urban passenger transport. Bulletin of M. Tynyshbayev KazATC, Vol.4,2019, P. 105–111.

7 **Dastanova, A. D., Aitmuldinov, D. K., Zhandarbekova, A. M.** Traffic safety ensuring issues in motor transport enterprises //: Republican scientific and theoretical conference materials «Seyfullin readings-14 : Youth, Science, Innovations», 2018, Vol.II, P. 122–124.

8 Road Traffic Law of Kazakhstan , April 17, 2014 No. 194-V (with amendments and additions as of 01.01.2019), <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1400001196>.

9 **Zhandarbekova, A. M.** Ensuring traffic safety in transport: Textbook for students / Publisher : Foliant, 2017, 256 p.

10 The National Chamber of Entrepreneurs “Atameken” named the main source of problems in the field of regular transportation// 02.06.2018, <https://informburo.kz/novosti/atameken-nazval-glavnyy-istochnik-problem-v-sfere-regulyarnyh-perevozok-.html>.

11 [Electronic resource]. – <https://informburo.kz/novosti/dtp-s-avtobusami-v-nur-sultane-pogibshaya-passazhirka-byla-materiyu-odinokoy.html>.

12 Adrian Spoerri, Matthias Egger, Erik von Elm, 2011, Mortality from road traffic accidents in Switzerland : Longitudinal and spatial analyses. Accident Analysis & Prevention, 43(2011), pp. 40-48.

13 **Antonio Comi, Antonio Polimeni, Chiara Balsamo.** Road Accident Analysis with Data Mining Approach : evidence from Rome. Transportation Research Procedia. Vol. 62, 2022, P. 798–805.

14 **Laura Eboli, Carmen Forciniti, Gabriella Mazzulla.** Transportation Research Procedia. Factors influencing accident severity : an analysis by road accident type, Vol.47,2020, P. 449–456.

15 **Krsto Lipovac, Miladin Nešić, Milan Tešić, Alan Ross, Vladan Tubić, Bojan Marić.** A comparative analysis of dangerous locations on the public roads in Serbia. Safety Science, Vol. 84, April 2016, P. 190–200.

16 **Ze-Hao Jiang, Xiao-Guang Yang, Tuo Sun, Tao Wang, Zheng Yang.** Investigating the Relationship between Traffic Violations and Crashes at Signalized Intersections : An Empirical Study in China, Journal of Advanced Transportation, Open Access, Vol.2022, Article ID 4317214.

17 **Yun Xiao, Haoyun Liu, Zijun Liang.** An Analysis of the Influential Factors of Violations in Urban-Rural Passenger Transport Drivers. Journal of Advanced Transportation, Open Access, Vol.2021, Article ID 1652923.

Received 01.04.2024.

Received in revised form 28.04.2024.

Accepted for publication 14.05.2024.

*А. Жандарбекова¹, *К. Мурзабекова²*

¹Қазақ агротехникалық зерттеу университеті. С. Сейфуллина,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.,

²Алматы Менеджмент Университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

01.04.2024 ж. баспаға түсті.

28.04.2024 ж. түзетулерімен түсті.

14.05.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ ЖОЛАУШЫЛАР ТАСЫМАЛЫ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Ірі қалалардағы жол-көлік оқиғаларымен күрестің әлеуметтік маңызы зор және мемлекеттік маңызы бар іс. Сонымен қатар, қоғамдық көліктің қатысуымен орын алған жол-көлік оқиғаларының ауыр зардаптарына байланысты қоғамдық көлік қозғалысының қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесі ерекше өзекті. Осылайша, қауіпсіздік жолаушылар тасымалының жоғары сапасын қамтамасыз ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады.

Жол-көлік оқиғалары мен жолдардағы жарақаттардың өсуіне әкелетін жолаушыларды тасымалдау қауіпсіздігін қамтамасыз ету тиімділігінің жеткіліксіздігі қазіргі таңда қоғамның өзекті мәселесі болып табылады.

Жол-көлік оқиғаларының себептерін зерттеу әдістерінің бірі деректерді талдауға, ақпаратты есте сақтауға, болжамдар жасауға, дайын үлгілерді жаңғыртуға және ұсынылғандардың ішінен ең қолайлы нұсқаны таңдауға мүмкіндік беретін машиналық оқыту болып табылады.

Осы зерттеуде 2017 - 2020 жылдар бойынша Астана қаласының қоғамдық көліктерінің қатысуымен болған жол-көлік оқиғаларының статистикалық деректері жүйеге келтіріліп, талданды және олардың туындауының ең негізгі себептері анықталды. Жол-көлік оқиғаларының саны туралы деректер жиынтығы машиналық оқыту факторизациясы және негізгі құрамдас талдау әдісі арқылы талданды, яғни қолданылған деректерді негізгі көрсеткіштерге дейін қысқартуға мүмкіндік берді.

Кілтті сөздер: қалалық жолаушылар тасымалы, автобус парктері, жол қауіпсіздігі, апатты талдау, жол апаттары, қоғамдық көлік, негізгі құрамдас талдау.

*А. Жандарбекова¹, *К. Мурзабекова²*

¹Казахский агротехнический научно-исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

²Алматинский университет менеджмента, г. Алматы, Республика Казахстан

Поступило в редакцию 01.04.2024.

Поступило с исправлениями 28.04.2024.

Принято в печать 14.05.2024.

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДЕ АСТАНА

Борьба с дорожно-транспортной аварийностью в крупных городах имеет большую социальную значимость и является делом государственной важности. При этом особую актуальность приобретает проблема обеспечения безопасности движения общественного транспорта по причине тяжелых последствий дорожно-транспортных происшествий с участием этой категории транспортных средств. Таким образом, безопасность является одним из главных факторов, обеспечивающих высокое качество услуг по предоставлению пассажирских перевозок.

Острой проблемой современного общества является недостаточно эффективное обеспечение безопасности пассажирских перевозок, что приводит к увеличению дорожно-транспортных происшествий и травматизму на дорогах.

Одним из методов исследования причин ДТП является машинное обучение, которое позволяет анализировать данные, запоминать информацию, строить прогнозы, воспроизводить готовые модели и выбирать наиболее подходящий вариант из предложенных.

В данном исследовании систематизированы, проанализированы данные статистики дорожно-транспортных происшествий, произошедших с участием общественного транспорта города Астаны за 2017 - 2020 гг., и установлены наиболее значимые причины их возникновения. Набор данных о количестве дорожно-транспортных происшествий проанализирован с использованием метода факторизации машинного обучения и анализа главных компонентов, что позволило свести данные к ключевым признакам.

Ключевые слова: городские пассажирские перевозки, автобусные парки, безопасность дорожного движения, анализ аварийности, дорожно-транспортные происшествия, общественный транспорт, анализ главных компонентов.

О. Т. Балабаев, А. В. Рожков, Б. Ш. Аскар, А. Д. Қасымжанова, *Д. М. Бейсембаев

Қарағандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда

*e-mail: Diasb113@mail.ru

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ (ОТ 800 М)

В данной статье представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных авторами в области определения предельных нагрузок в съёмном оборудовании вагон-платформ в сцепе при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) на железных дорогах Казахстана. Проведенный предварительный обзор и анализ существующих методов и методик расчета показал, что на данный момент нет расчетных моделей, учитывающих предельные нагрузки при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по железным дорогам. В работе предложены основные расчетные схемы для определения предельных нагрузок в съёмном оборудовании вагон-платформ в сцепе при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) при прохождении круговых кривых. Основной идеей исследования является то, что разрабатываемый метод расчета предельных нагрузок в съёмном оборудовании вагон-платформ в сцепе (рельсовозах) при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) позволит определять безопасность их транспортирования по железным дорогам Казахстана. Реализация данного научного проекта существенно повысит эффективность внедрения высокоскоростного «бархатного пути» в Казахстане. Представленные результаты исследований, на наш взгляд, имеют серьезное прикладное значение, которое, несомненно, будет интересно инженерам и ученым, занимающимся исследованиями в области железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, рельсовоз, железнодорожные платформы, длинномерные рельсовые плети, предельные нагрузки.

Введение

1 сентября 2023 года в Послании народу Казахстана Глава государства Касым-Жомарт Токаев обозначил, что в транспортно-логистической отрасли страны в первую очередь следует реализовать ряд крупных железнодорожных проектов, таких как «Достык – Мойынты», «Бахты – Аягыз», «Дарбаза – Мактаарал», обводная линия Алматы – это также подтверждает актуальность данного проекта [1].

Сегодня на железнодорожном транспорте активно внедряется высокоскоростной «бархатный путь», при котором уменьшено количество стыков за счет укладки длинномерных рельсовых плетей [2-4]. Весной 2023 года руководители

транспортных предприятий обратились в Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (ҚарТУ им. А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан) с просьбой рассмотреть возможность разработки научно обоснованной методики расчета позволяющей определять предельные нагрузки в съёмном оборудовании вагон-платформ в сцепе (рельсовозах) при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) для укладки высокоскоростного «бархатного пути».

В настоящее время в России ОАО «Российские железные дороги» успешно осуществляют перевозку длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) рельсовозами РС-800/3 [5], при этом скорость состава [6] доходит на некоторых участках железной дороги до 80 км/ч (рисунок 1). В Казахстане, однако возникли вопросы, связанные с безопасностью перевозок рельсовозами по железным дорогам страны длинномерных рельсовых плетей (от 800 м). Это предопределило необходимость проведения детальных исследований с разработкой расчетных моделей, которые позволят проанализировать и определить безопасность перевозок длинномерных рельсовых плетей (от 800 м).



Рисунок 1 – Перевозка длинномерных рельсовых плетей рельсовозами по железным дорогам России

Проведенный предварительный обзор и анализ существующих методов и методик расчета [7–9] показал, что на данный момент нет расчетных моделей, учитывающих предельные нагрузки при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по железным дорогам. Наиболее близким к предлагаемому техническому решению по решаемой задаче и достигаемому техническому результату является метод расчета, разработанный учеными Китайской академии железнодорожных наук для Министерства железных дорог КНР (г. Пекин, Китайская Народная Республика) [9]. Учеными КНР разработана динамическая модель определения нагрузок при перевозке длинномерных рельсовых плетей длиной 100 м с прохождением поворота радиусом круговых кривых пути до 300 м. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что показатели динамики

состава соответствуют требованиям безопасности перевозок. Результаты экспериментов внедрены на железных дорогах Китайской Народной Республики. Однако данный метод расчета [9] предназначен для определения нагрузок при перевозке длинномерных рельсовых плетей до 100 м.

Поэтому вопросы в области разработки метода расчета позволяющий определять предельные нагрузки в съемном оборудовании вагон-платформ в сцепе (рельсовозах) при перевозке длинномерных рельсовых плетей от 800 м, возникающие при изменении профиля железнодорожного пути и искривлении рельсовой плети от изменения радиусов круговых кривых пути при движении рельсовоза, требует всестороннего изучения и создания научных основ данного направления.

Материалы и методы

Предлагаемая расчетная схема для определения предельных нагрузок в съемном оборудовании вагон-платформ в сцепе при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) при прохождении круговых кривых представлена на рисунке 2.

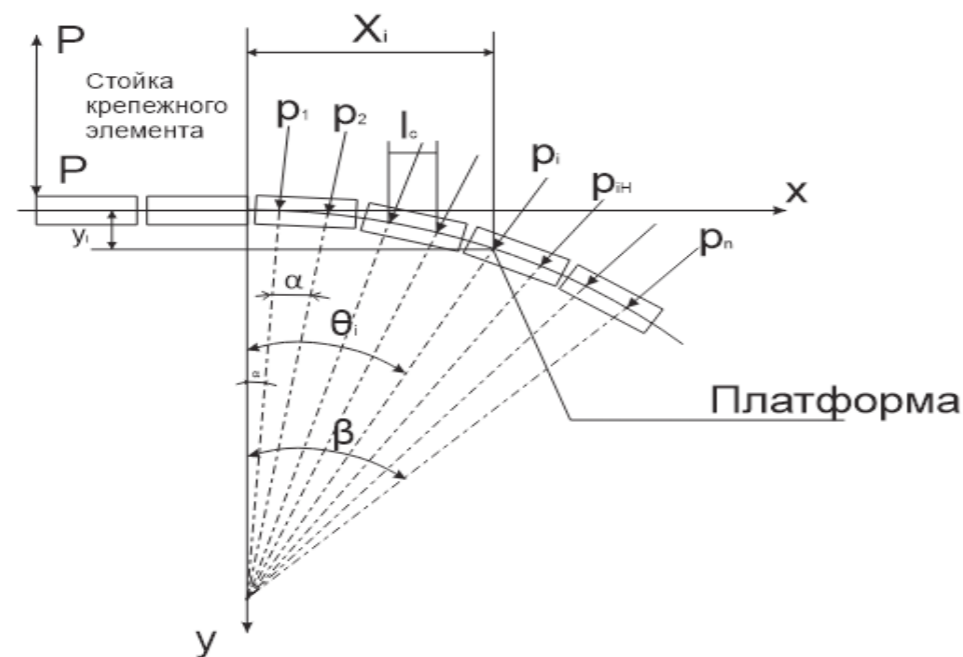


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения предельных нагрузок в съемном оборудовании вагон-платформ в сцепе при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по круговым кривым

P_i – усилия (реакция стоек), вызванные принудительной деформацией пакета рельсов, на i -й стойке; l_e – расстояние между стойками крепежной платформы; R – радиус кривой; y_i – деформация изгиба пакета рельсов на i -й стойке; α –

угол поворота между соседними стойками крепежной платформы; β – общий угол поворота кривой; x_i – расстояние от угла изгиба до i -й стойки крепежной платформы поворота; θ – угол поворота сечения пакетов рельсов на i -й стойке

Замечены очевидные геометрические соотношения, вытекающие из расчетной схемы (рисунки 2 и 3).

$$\begin{aligned} x_i &= \sum_{j=1}^i l_e \\ \theta_i &= \sum_{j=1}^i \alpha \\ \Delta &= l_e \cdot \operatorname{tg} \alpha \\ \alpha &= \operatorname{arctg} \frac{l_e}{2R} \end{aligned} \tag{1}$$

где Δ – деформация одного участка между 2-мя стойками.

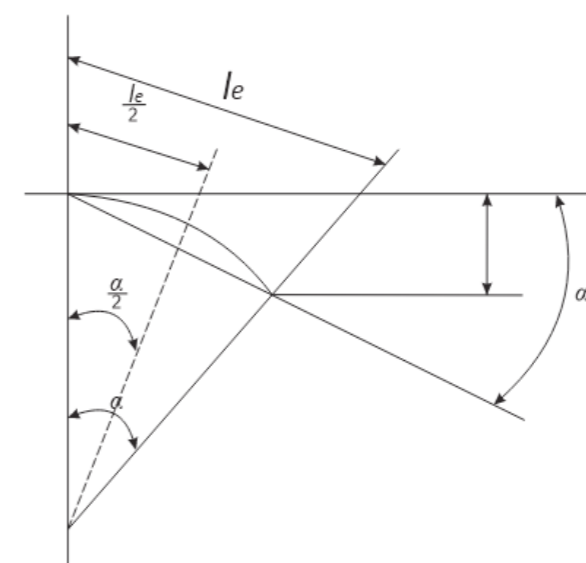


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения деформации пакета рельсов

Тогда универсальное уравнение упругой линии в выражении через начальные параметры примет следующий вид:

$$y = y_0 + \theta_Q x + \frac{M_0 x^2}{2EY} + \frac{Q_0 x^3}{6EY} + f(x), \tag{2}$$

где y_0, θ, Q_0, M_0 – начальные параметры – соответственно прогиб, угол поворота, поперечная сила и изгибающий момент в начале координат.

Для более высокой точности определения предельных нагрузок в съемном оборудовании вагон-платформ в сцепе при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) по круговым кривым, необходимы детальные исследования с разработкой цифровой модели в программной среде ANSYS, которая позволит проанализировать эффективность предлагаемых расчетных схем.

Результаты и обсуждение

Основной идеей исследования является то, что разрабатываемый метод расчета предельных нагрузок в съемном оборудовании вагон-платформ в сцепе (рельсовозах) при перевозке длинномерных рельсовых плетей (от 800 м) позволит определять безопасность их транспортирования по железным дорогам Казахстана. Реализация данного научного исследования существенно повысит эффективность внедрения высокоскоростного «бархатного пути» в Казахстане.

В реализации исследования с точки зрения повышения экономической эффективности и индустриального применения могут быть не только заинтересованы во внедрении на железных дорогах Казахстана, но и в других странах Средней Азии (Узбекистан, Кыргызстан и др.) где внедряется высокоскоростной «бархатный путь». Значимость исследования в национальном масштабе заключается в реализации Национального проекта «Сильные регионы – драйвер развития страны» [10], одной из целей которого является обеспечение транспортной связанности и повышения транспортно-транзитного потенциала страны.

Информацию о финансировании

Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP23488738).

Выводы

Представленные результаты исследований, на наш взгляд, имеют серьезное прикладное значение, которое, несомненно, будет интересно инженерам и ученым, занимающимся исследованиями в области железнодорожного транспорта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана». URL-адрес: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-ekonomicheskij-kurs-spravedlivogo-kazahstana-18588>.

2 Бархатный путь. Дополнительный импульс развития экономики региона URL-адрес: <https://ztgzt.kz/barxatnyj-put/>.

3 Новый бархатный путь. Капремонт железнодорожного пути в Карагандинской области. URL-адрес: <https://rail-news.kz/ru/infrastructure/12378-novyi-barxatnyi-put-kapremont-zeleznodoroznogo-puti-v-karagandinskoi-oblasti.html>.

4 Бархатный путь: как кладут рельсы в Алматинском регионе. URL-адрес: <https://rail-news.kz/ru/regions/7789-barxatnyy-put-kak-kladut-relsy-v-almatinskom-regione.html>.

5 РС-800/3 состав рельсовозный. URL-адрес: <https://sinaratm.ru/products/putevaya-tehnika/rs-800-3/>.

6 ОБ УТВЕРЖДЕНИИ УСЛОВИЙ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СОСТАВА РЕЛЬСОВОЗНОГО РС-800/1-5. ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ». РАСПОРЯЖЕНИЕ от 28 июня 2011 г. N 1405р. URL-адрес: <https://jd-doc.ru/2011/iyun-2011/5650-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-28-06-2011-n-1405r>.

7 **Kukulski Jacek, Gołębiowski Piotr, Makowski, Jacek, Jacyna-Golda Iona, Żak, Jolanta.** Article «Effective method for diagnosing continuous welded track condition based on experimental research» // Energies (2022 г – процентиль в Scopus 82%), Том 14, Выпуск 102, 2021. Номер статьи 28892. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en14102889>.

8 **Petraska Arturas, Jarasuniene Aldona, Ciziuniene Kristina.** Article «Routing methodology for heavy-weight and oversized loads carried by rail transport» // Procedia Engineering (2020 г – процентиль в Scopus 80%), Том 178, Страницы 589-596. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.114>.

9 **Wen Kexue, Ma Yukun, Li Shanpo, Zhang Changqing, Yang Guangquan.** Article «Simulation and experimental research on transporting 100 m long steel rails using flatcars passing turnouts and curves» // Zhongguo Tiedao Kexue/China Railway Science (2022 г – процентиль в Scopus 33%), Том 32, Выпуск 2, Страницы 90-96. 2011. ISSN: 10014632. URL-адрес: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79955730726&origin=resultlist&sort=plf-f&src=s&sid=f221811fe2>

10 Nacional`ny`j proekt «Sil`ny`e regiony` – drajver razvitiya strany`» [National project “Strong regions – a driver of the country’s development.”] URL: <https://www.akorda.kz/assets/media/files/silnye-regiony.pdf> (date of access: 01.11.2023).

Поступило в редакцию 28.05.2024.

Поступило с исправлениями 29.05.2024.

Принято в печать 15.06.2024.

О. Т. Балабаев, А. В. Рожков, Б. Ш. Аскараров,

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

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

28.05.2024 ж. баспаға түсті.

29.05.2024 ж. түзетулерімен түсті.

15.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҰЗЫН ӨЛШЕМДІ РЕЛЬС БУНАҚТАРЫН (800 М-ДЕН БАСТАП) ТАСЫМАЛДАУ КЕЗІНДЕ ШЕКТІ ЖҮКТЕМЕЛЕРДІ АНЫҚТАУ МӘСЕЛЕСІНЕ

Бұл мақалада Қазақстанның темір жолдарында ұзын өлшемді рельс бунақтарын (800 м-ден бастап) тасымалдау кезінде тіркемедегі вагон-платформалардың алмалы-салмалы жабдықтарындағы шекті жүктемелерді анықтау саласында авторлар орындаған ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген. Есептеудің қолданыстағы әдістері мен әдістемелеріне алдын-ала шолу және талдау қазіргі уақытта теміржолдарда ұзын өлшемді рельс бунақтарын (800 м-ден) тасымалдау кезінде шекті жүктемелерді ескеретін есептеу модельдері жоқ екенін көрсетті. Жұмыста шеңбер қисықтарынан өту кезінде ұзын өлшемді рельс буындарын (800 м-ден бастап) тасымалдау кезінде тіркемедегі вагон-платформалардың алмалы-салмалы жабдықтарындағы шекті жүктемелерді анықтау үшін негізгі есептік сызбалар ұсынылған. Зерттеудің негізгі идеясы ұзын өлшемді рельс бунақтарын (800 м-ден бастап) тасымалдау кезінде тіркемедегі (рельс тасығыштардағы) вагон-платформалардың алмалы-салмалы жабдықтарындағы шекті жүктемелерді есептеудің әзірленіп жатқан әдісі оларды Қазақстанның темір жолдары арқылы тасымалдау қауіпсіздігін айқындауға мүмкіндік беретіндігі болып табылады. Осы ғылыми жобаны іске асыру Қазақстанда жоғары жылдамдықты «барқыт жолын» енгізудің тиімділігін айтарлықтай арттырады. Ұсынылған зерттеу нәтижелері, біздің ойымызша, теміржол көлігін зерттеуге арналған инженерлер мен ғалымдарды қызықтыратын маңызды қолданбалы мәнге ие.

Кілтті сөздер: теміржол көлігі, рельс тасығыш, теміржол платформалары, ұзын өлшемді рельс бунақтары, шекті жүктемелер.

O. T. Balabayev, A. V. Rozhkov, B. Sh. Askarov,

A. B. Kassymzhanova, *D. M. Beisembayev

Abylka Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 28.05.2024.

Received in revised form 29.05.2024.

Accepted for publication 15.06.2024.

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE MAXIMUM LOADS DURING THE TRANSPORTATION OF ULTRA-LONG RAILS (from 800 m)

This article presents the results of research work carried out by the authors in the field of determining the maximum loads in removable equipment of flatcars in coupling when transporting ultra-long rails (from 800 m) on the railways of Kazakhstan. A preliminary review and analysis of existing calculation methods and techniques showed that at the moment there are no calculation models that take into account the maximum loads when transporting ultra-long rails (from 800 m) by rail. The paper proposes basic calculation schemes for determining the maximum loads in the removable equipment of flatcars in a coupling when transporting ultra-long rails (from 800 m) when passing circular curves. The main idea of the study is that the developed method for calculating the maximum loads in the removable equipment of flatcars in a coupling (rail carriers) when transporting ultra-long rails (from 800 m)

will make it possible to determine the safety of their transportation on the railways of Kazakhstan. The implementation of this scientific project will significantly increase the efficiency of the implementation of the high-speed “velvet path” in Kazakhstan. The presented research results, in our opinion, have serious applied significance, which will undoubtedly be of interest to engineers and scientists involved in research in the field of railway transport.

Keywords: railway transport, rail carrier, railway platforms, long rail strands, maximum loads.

**Б. Д. Каббасов¹, Р. Ю. Зарипов², *К. К. Абишев²,
В. И. Павлюк², В. Н. Егоров²**

¹Высший колледж электроники и коммуникаций,
Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

К ВОПРОСУ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ С ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Приведен анализ работ в области эксплуатации и технического обслуживания автомобилей с газобаллонным оборудованием. В частности, рассматривается проблема запуска двигателя автомобилей с системой питания газовым топливом в холодное время года. В автомобильном газовом баллоне сжиженные углеводородные газы находятся в агрегатных состояниях: жидком и газообразном. Под действием температуры окружающей среды в баллоне происходит изменение агрегатного состояния газа и содержанием тепла в системе.

Целью данной работы является обеспечение работоспособности автомобилей с газовым оборудованием в системе питания при отрицательных температурах путем поддержания давления сжиженного углеводородного газа в автомобильном газовом баллоне в заданных пределах.

Авторами предлагается система подогрева газа в баллоне с установкой ленточного нагревателя снаружи в виде кожуха, а также спирального змеевика с электронагревателем, встраиваемого в боковой стенке баллона.

Отражена методика определения необходимой мощности нагревательного элемента, времени работы нагревателя для поддержания давления, а также потери тепла в баллоне в процессе эксплуатации. В условиях учебно-производственных мастерских факультета Инженерии НАО «Торайгыров университет» разрабатывается учебный стенд компонентов газобаллонного оборудования автомобиля с возможностью проведения экспериментов.

Ключевые слова: газобаллонное оборудование, давление газов, тепловые потери, низкие температуры, баллон.

Введение

Переоборудование топливной системы бензинового двигателя для работы на газе набирает популярность, так как цена на газ гораздо ниже цены бензина, что сказывается на экономичности. Также следует отметить экологичность данной системы, так как выбросы отработавших газов менее токсичны.

По данным статистики [1] на 1 января 2024 года в стране зарегистрировано 5 326 809 транспортных средств, 4,1 млн транспортных средств ездит на бензине, 6,7 тысячи – на газе, 86,7 тысячи – на дизеле.

При переоборудовании необходимо использовать компоненты прошедшие оценку соответствия и соблюдать требования [2] и национальный стандарт

о внесении изменений в конструкцию автомобиля, в том числе установку газобаллонного оборудования [9].

Авторами в статье [3] рассмотрены правовые и технические аспекты безопасного использования газотопливных установок в транспортных средствах, а также контекст ограничения доступа к автомобильной инфраструктуре для автомобилей, работающих на газообразном топливе.

Материалы и методы

Проблема снижения качества пуска автомобиля с газовым оборудованием в холодное время года при отрицательных температурах обусловлена снижением внутреннего давления газа, изменением состояния паровой и газовой фаз. Исследование является актуальным для стран с резкоконтинентальным климатом, таким как Республика Казахстан. Данным вопросом занимаются ученые из разных стран.

В статье [4] определяется адаптированность транспортных средств к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и выбросам вредных веществ в выхлопных газах транспортных средств. Эта зависимость описывается квадратичными математическими моделями.

В работе [5] в качестве решения проблемы снижения давления в баллоне в зимний период предложено применение полимерного трубчатого нагревательного элемента. Данный тип нагревателя после термического отжига трубки может быть деформирован в любую форму, не нагреваясь.

В статье [6] представлен анализ эксплуатационных и экологических показателей газобаллонных автомобилей, их перспективы и оптимальная установка газобаллонного оборудования.

В автомобильном газовом баллоне (далее баллон) сжиженные углеводородные газы находятся в агрегатных состояниях: жидком и газообразном. Под действием температуры окружающей среды в баллоне происходит изменение агрегатного состояния газа и содержанием тепла в системе.

Расчет параметров системы. Для повышения и поддержания давления при отрицательной температуре среды предлагается использовать нагревательный элемент газового баллона. Следовательно, необходимо рассчитать некоторые параметры.

Мощность, необходимая для поддержания давления газа в баллоне, Вт

$$N_{\text{наг}} = \frac{Q \cdot k}{\tau}, \quad (1)$$

где k – коэффициент запаса нагревателя;

τ – время, необходимое для увеличения давления газа до 0,15 МПа, мин;

Q – необходимое количество теплоты, кДж.

Время, требуемое для увеличения давления паров газа

$$\tau_{п} = \frac{Q \cdot k}{N_{наг}}, \quad (2)$$

где $N_{наг}$ – мощность нагревателя.

Для определения потерь тепловой энергии в окружающую среду, при работе электронагревателя, произведем расчет. Поток тепла, проходящий от нагревателя через баллон к окружающей среде, Вт

$$\sum Q = (q_n + q_b + \sum q_6), \quad (3)$$

где q_n – удельный поток тепла в нижней части баллона, Вт/м²
 q_b – удельный поток тепла в верхней части баллона, Вт/м²
 $\sum q_6$ – суммарные боковые удельные потоки тепла, Вт/м²

Площадь поверхности баллона, м²

$$F_6 = F_{ц} + 2F_{пс}, \quad (4)$$

где: $F_{ц}$ – площадь полной поверхности цилиндра, м² ;
 $F_{пс}$ – площадь полукруга, м²

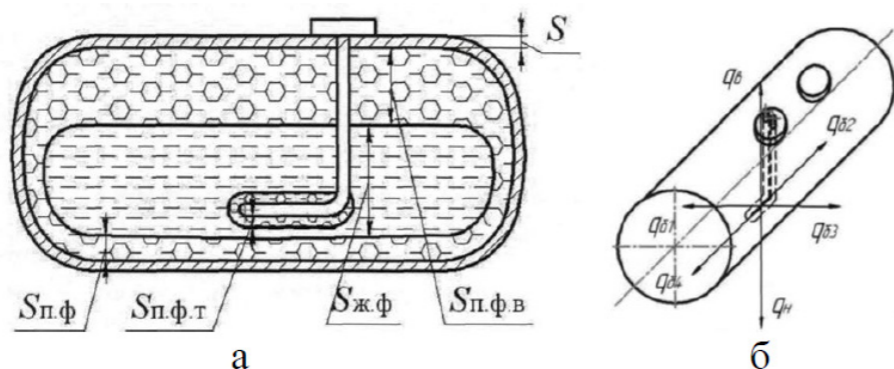


Рисунок 1 – Баллон с указанием расчетных данных (а), распространения потока тепла от нагревателя к среде (б)

$S_{п.ф}$ – толщина паровой фазы газа снизу баллона, м; $S_{п.ф.т}$ – толщина паровой фазы рядом с нагревателем, м; $S_{ж.ф}$ – толщина жидкой фазы газа, м; $S_{п.ф.в}$ – толщина паровой фазы газа сверху баллона, м; S – толщина стенки баллона, м

Площадь полной поверхности и полусферы баллона, м :

$$F_{ц} = 2\pi R(h + H) \quad (5)$$

$$F_{пс} = 2\pi R^2 \quad (6)$$

где: R – радиус основания баллона, м;
 h – высота баллона, м.

Удельный поток тепла, проходящий через часть баллона, Вт/м ;

$$q_n = \frac{t_{нагр} - t_b}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{S_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7)$$

где $t_{нагр}$ – температура нагревателя,
 t_b – температура воздуха,
 α_1 – коэффициент передачи тепла от нагревателя к паровой фазе газа
 S_n – толщина паровой (жидкой) фазы в зоне n
 λ_n – коэффициент теплопроводности паровой (жидкой) фазы, Вт/(м °С)
 α_2 – коэффициент передачи тепла от наружной поверхности баллона к окружающей среде, Вт/(м °С)

Коэффициент полезного действия, %

$$\eta = \frac{N_{наг} - \sum Q}{N_{наг}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Результаты расчета исследуемых параметров для различных объемов жидкой фазы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты теплового расчета при мощности нагревателя 0,8 кВт, температуре воздуха – 30°С

Объем жидкой фазы, л	Время на увеличение давления паров газа до 0,15 МПа (t_n), мин	Поток тепла от нагревателя через газовый баллон к окружающей среде, Вт	Количество теплоты для поддержания давления газов, кДж
10	7,9	152,4	344,7
20	14,1	152,5	612,2
30	18,0	153,0	785,5
40	24,0	153,4	1044,9

Результаты и обсуждение

Авторами предлагается система подогрева газа в баллоне с установкой ленточного нагревателя снаружи в виде кожуха, а также спирального змеевика с электронагревателем, встраиваемого в боковой стенке баллона.

Система подогрева топлива в газобаллонном оборудовании автомобилей в условиях низких температур, конструкция, которой содержит: газовый баллон (рисунок 2), входной газовый фильтр, блок арматуры, заправочную магистраль, выносное заправочное устройство, расходную магистраль, манометр, термопара паровой фазы, измеритель температуры, датчик контроля давления, аккумуляторная

батарея, датчик уровня газа, блок управления, термopара жидкой фазы, ленточный электронагреватель, который снаружи утеплен термо-кожухом, отличающиеся тем, что во внутренней полости баллона установлено теплообменное устройство, которая представляет собой змеевик, в котором с помощью электронагревателя нагревается жидкость.

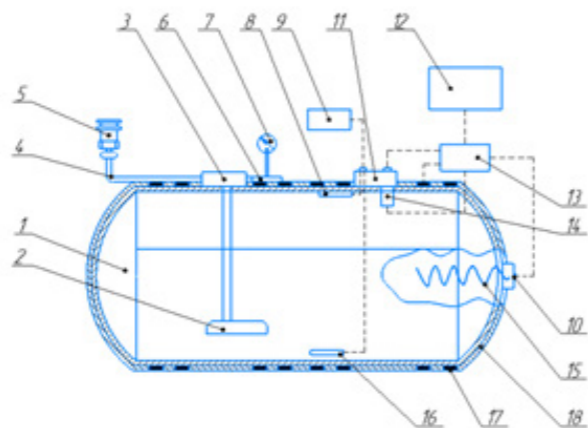


Рисунок 2 – Общий вид установки

1 – газовый баллон, 2 – входной газовый фильтр, 3 – блок арматуры, 4 – заправочную магистраль, 5 – выносное заправочное устройство, 6 – расходную магистраль, 7 – манометр, 8 – термopара паровой фазы, 9 – измеритель температуры, 10 – электронагреватель, 11 – датчик контроля давления, 12 – аккумуляторная батарея, 13 – блок управления, 14 – датчик уровня газа, 15 – теплообменное устройство, 16 – термopара жидкой фазы, 17 – ленточный электронагреватель, 18 – термо-кожух.

Для проведения экспериментальных исследований авторами производится сборка учебного стенда газобаллонного оборудования инжекторного и карбюраторного двигателя с возможностью проведения диагностики. Процесс сборки стенда представлен на рисунке 3.

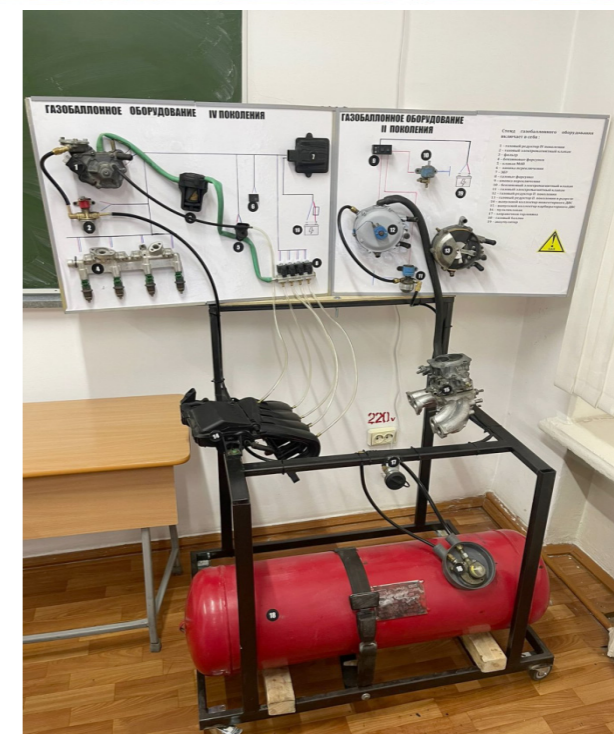
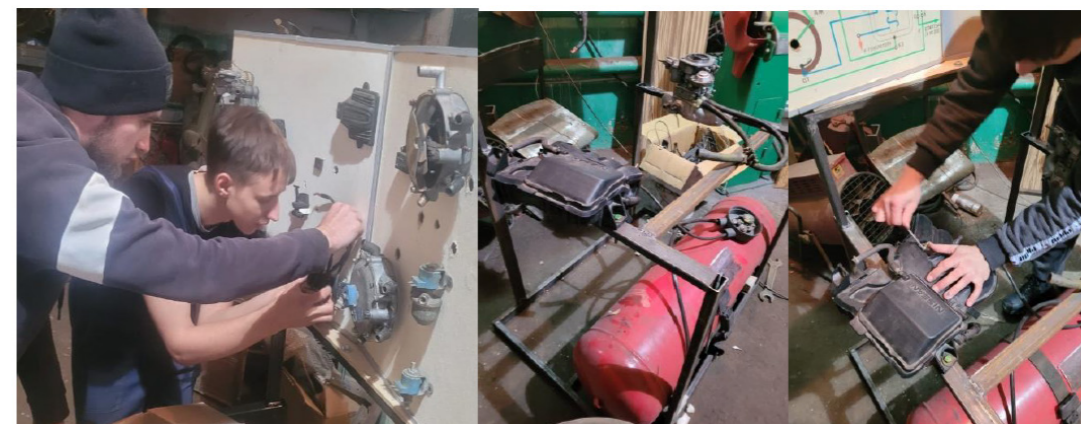


Рисунок 3 – Сборка учебного стенда

Стенд содержит раму, у основания которой установлен газовый баллон с газопроводами, газовый редуктор, переключатель вида топлива, газовый клапан, фильтр, датчик уровня топлива, блок управления, газовые и бензиновые форсунки, датчик давления и температуры газа.

Стенд разделен на две части. Одна часть включает газобаллонное оборудование IV поколения с поведением газопроводов к впускному коллектору инжекторного двигателя.

Вторая часть стенда содержит газобаллонное оборудование II поколения с подведением газопровода к впускному коллектору карбюраторного двигателя. Для наглядности стенд содержит газовый редуктор в разрезе.

Выводы

В статье проведен анализ проблемы снижения давления сжиженного газа в газобаллонном оборудовании автомобиля в холодное время года. Изучены работы отечественных и зарубежных ученых, изучающих данную проблему.

Приведена методика расчета параметров газа при установке в газовый баллон дополнительных нагревательных устройств, в том числе потребная мощность, потери тепла при работе системы. При этом баллон условно разделен на зоны распределения теплоты.

В качестве конструкторской разработки предложена модернизация газового баллона с установкой внешнего и внутреннего нагревателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Комитет по Статистике Республики Казахстан : информационный портал. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.stat.gov.kz>, 2024 – 1 с.
- 2 Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств». Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 877.
- 3 **Chojnowski, J.** Safety in the use of car gas fuel installations. Combustion Engines. 2022, 189(2), P. 3–9. <https://doi.org/10.19206/CE142172>.
- 4 **Anisimov, A. Ivanov, E. Chikishev, D. Chainikov & L. Reznik.** Assessment of gas cylinder vehicles adaptability for operation at low ambient temperature conditions Energy Production and Management in the 21st Century, Vol. 1.
- 5 **Коваль, И. А., Курманов, А. К.** Улучшение эксплуатации транспортных средств, функционирующих на газовом топливе в зимний промежуток времени Journal Academy. – 2018. – № 12 (39). С. 8–14.
- 6 **Bazarov, B., Axmatjanov, R., Tojiyev, J. and Azimov, A.** The concept of improving the performance indicators of gas-cylinder vehicles/ Materials of 4th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering ICECAE 2023, Volume 434, 2023.
- 7 **Гурдин, В. И., Певнев, Н. Г., Банкет, М. В.** Оптимизация теплосодержания СУГ в автомобильном газовом баллоне для обеспечения бесперебойной работы ГБА // Транспорт на альтернативном топливе, 2010. № 4 (16). С. 10–13.
- 8 **Zaripov, R., Gavrilovs, P., Sembaev, N.** Methodology for assessing the ecological safety of cars/ Transport Means - Proceedings of the International Conference. 25, Sustainability: Research and Solution. – «Proceedings of the 25th International Scientific Conference». – 2021. – P. 924–929.
- 9 СТ РК 1418-2018 Автомототранспортные средства. Внесение изменений в конструкцию. Общие положения и технические требования Утверждено приказом Председателя Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции РК от 22.04.24 г. № 151-НК, вводится в действие с 1 декабря 2024 г.

10 **Певнев Н. Г.** Техническая эксплуатация газобаллонных автомобилей: учебное пособие / Н. Г. Певнев, А. П. Елгин, Л. Н. Бухаров и др. – Омск : СибАДИ, 2002. – 218 с.

11 Патент №8492 Республика Казахстан, МПК F17C 13/10 (2006.01) Система подогрева топлива в газобаллонном оборудовании автомобилей в условиях низких температур/ Каббасов Б.Д., Зарипов Р. Ю., Абишев К. К.; заявитель и патентообладатель Каббасов Б.Д. – № 2023/0843.2; заявл. 17.08.2023; опубл. 06.10.2023, Бюл. № 33. – 2 с.

12 **Каббасов Б. Д.** Автомобильдердің газбаллонды жабдыктарын техникалық пайдалануды жетілдіру / Наука и техника Казахстана. – №3, 2022. – С. 130–139.

Поступило в редакцию 13.05.2024.

Поступило с исправлениями 05.06.2024.

Принято в печать 14.06.2024.

REFERENCES

- 1 Komitet po Statistike Respubliki Kazahstan: informacionnyj portal. [Committee on Statistics of the Republic of Kazakhstan: information portal]. [Electronic resource] – Access mode. URL: <http://www.stat.gov.kz>, 2024 – 1 с.
- 2 Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 018/2011 «O bezopasnosti kolesnyh transportnyh sredstv». Utverzhdn Resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 09.12.2011 g. № 877 [Technical Regulations of the Customs Union TR CU 018/2011 «On the safety of wheeled vehicles». Approved by the Decision of the Customs Union Commission dated December 9, 2011 No. 877].
- 3 **Chojnowski, J.** Safety in the use of car gas fuel installations. Combustion Engines. 2022, 189(2), P. 3–9. <https://doi.org/10.19206/CE142172>
- 4 **Anisimov, A. Ivanov, E. Chikishev, D. Chainikov & L. Reznik.** Assessment of gas cylinder vehicles adaptability for operation at low ambient temperature conditions Energy Production and Management in the 21st Century, Vol. 1.
- 5 **Koval' I. A., Kurmanov A. K.** Uluchshenie ekspluatatsii transportnyh sredstv, funkcioniruyushchih na gazovom toplive v zimnij promezhutok vremeni Journal Academy [Improving the operation of vehicles operating on gas fuel in the winter Journal Academy]. – 2018. – № 12 (39). P. 8–14.
- 6 **Bazarov, B., Axmatjanov, R., Tojiyev, J. and Azimov, A.** The concept of improving the performance indicators of gas-cylinder vehicles/ Materials of 4th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering ICECAE 2023, Volume 434, 2023.
- 7 **Gurdin V. I., Pevnev N. G., Banket M. V.** Optimizatsiya teplosoderzhaniya SUG v avtomobil'nom gazovom ballone dlya obespecheniya besperebojnoj raboty GBA [Optimization of the heat content of LPG in a car gas cylinder to ensure uninterrupted operation of the gas pump] // Transport on alternative fuels, 2010. № 4 (16). pp. 10–13.
- 8 **Zaripov, R., Gavrilovs, P., Sembaev, N.** Methodology for assessing the ecological safety of cars/ Transport Means - Proceedings of the International Conference. 25,

Sustainability: Research and Solution. – «Proceedings of the 25th International Scientific Conference». – 2021. – P. 924–929.

9 ST RK 1418-2018 Avtomototransportnyye sredstva. Vnesenie izmenenij v konstrukciyu. Obshchie polozheniya i tekhnicheskie trebovaniya Utverzhdeno prikazom Predsedatelya Komiteta tekhnicheskogo regulirovaniya i metrologii Ministerstva trgovli i integracii RK ot 22.04.24 g. № 151-NK, vvoditsya v dejstvie s 1 dekabrya 2024 g [ST RK 1418-2018 Motor vehicles. Making changes to the design. General provisions and technical requirements Approved by order of the Chairman of the Committee for Technical Regulation and Metrology of the Ministry of Trade and Integration of the Republic of Kazakhstan dated April 22, 24 No. 151-NK, to be enforced from December 1, 2024].

10 **Pevnev N. G.** Tekhnicheskaya ekspluatatsiya gazoballonnyh avtomobilej [Technical operation of gas-cylinder vehicles] : textbook / N. G. Pevnev, A. P. Elgin, L. N. Buharov i dr. – Omsk : SibADI, 2002. – 218 p.

11 Patent №8492 Respublika Kazahstan, MPK F17C 13/10 (2006.01) Sistema podogreva topliva v gazoballonnom oborudovanii avtomobilej v usloviyah nizkih temperatur [Patent No. 8492 Republic of Kazakhstan, IPC F17C 13/10 (2006.01) Fuel heating system in gas-cylinder equipment of cars at low temperatures] / Kabbasov B. D., Zaripov R. Yu., Abishev K. K.; applicant and patent holder Kabbasov B.D. – No. 2023/0843.2; appl. 08/17/2023; publ. 10/06/2023, Bulletin № 33. – 2 p.

12 **Kabbasov B. D.** Avtomobil'derdiñ gazballondy zhabdyktaryn tekhnikaluk pajdalanudy zhetildiru [Automobile gas cylinders zhabdyktaryn equipment paidalanuda zhetildiru] / Science and technology of Kazakhstan. – № 3, 2022. – P. 130–139.

**Б. Д. Каббасов¹, Р. Ю. Зарипов², *К. К. Абишев²,
В. И. Павлюк², В. Н. Егоров²**

¹Жоғары электроника және коммуникациялар колледжі,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Торайғыров Университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
13.05.2024 ж. баспаға түсті.

05.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.

14.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚЫСҚЫ КЕЗЕҢДЕ ГАЗ БАЛЛОНДЫ ЖАБДЫҒЫ БАР АВТОМОБИЛЬДЕРДІ ПАЙДАЛАНУ МӘСЕЛЕСІНЕ

Газ баллонды жабдығы бар автомобильдерді пайдалану және оларға техникалық қызмет көрсету саласындағы жұмыстарға талдау келтірілген. Атап айтқанда, суық мезгілде газ отынымен жабдықтау жүйесі бар автомобиль қозғалтқышын іске қосу мәселесі қарастырылуда. Автомобиль газ баллондында сұйытылған көмірсутек газдары сұйық және газ тәрізді агрегаттық күйлерде болады. Баллонда қоршаған орта температурасының әсерінен газдың агрегаттық күйі мен жүйедегі жылу мөлшері өзгереді.

Бұл жұмыстың мақсаты берілген шектерде Автомобиль газ баллондында сұйытылған көмірсутек газының қысымын ұстап тұру арқылы теріс температурада қоректендіру жүйесінде газ жабдығы бар автомобильдердің жұмысқа қабілеттілігін қамтамасыз ету болып табылады.

Авторлар баллон сыртында таспалы жылытқыш орнатылған, сонымен қатар баллонның бүйір қабырғасына орнатылған электр жылытқышы бар спиральды иректүтігі бар газды жылыту жүйесін ұсынады.

Қыздыру элементінің қажетті қуатын, қысымды ұстап тұру үшін жылытқыштың жұмыс уақытын, сондай-ақ жұмыс кезінде баллондағы жылу шығынын анықтау әдістемесі көрсетілген. Торайғыров университеті Инженерия факультетінің оқу-өндірістік шеберханалары жағдайында эксперименттер жүргізу мүмкіндігімен автомобильдің газ баллонды жабдығы компоненттерінің оқу стенді әзірленуде.

Кілтті сөздер: газ баллонды жабдық, газ қысымы, жылу шығыны, төмен температура, баллон.

B. D. Kabbasov¹, R. Y. Zaripov², *K. K. Abishev², V. I. Pavlyuk², V. N. Egorov²

¹Higher College of Electronics and Communications,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
Received 13.05.2024.

Received in revised form 05.06.2024.

Accepted for publication 14.06.2024.

ON THE ISSUE OF OPERATION OF CARS WITH GAS CYLINDER EQUIPMENT IN WINTER

The analysis of works in the field of operation and maintenance of vehicles with gas cylinder equipment is given. In particular, the problem of starting the engine of cars with a gas fuel supply system in the cold season is considered. In an automobile gas cylinder, liquefied petroleum gases are in aggregate states: liquid and gaseous. Under the influence of the ambient temperature in the cylinder, the aggregate state of the gas and the heat content in the system change. The purpose of this work is to ensure the operability of vehicles with gas equipment in the power supply system at subzero temperatures by maintaining the pressure of liquefied petroleum gas in the automotive gas cylinder within specified limits.

The authors propose a gas heating system in a cylinder with the installation of a belt heater outside in the form of a casing, as well as a spiral coil with an electric heater embedded in the side wall of the cylinder. The method of determining the required power of the heating element, the operating time of the heater to maintain pressure, as well as heat loss in the cylinder during operation is reflected. In the conditions of educational and production workshops of the Faculty of Engineering of Toraighyrov University, a training stand for components of gas cylinder equipment of a car with the possibility of conducting experiments is being developed.

Keywords: gas cylinder equipment, gas pressure, heat losses, low temperatures, cylinder.

А. Р. Кульчицкий

АО «Камешковский механический завод»,
Российская Федерация, г. Камешково
*e-mail.ru: ark6975@mail.ru

УЧЁТ ПОДВИЖНОСТИ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ АЗОТА ПРИ ДИФфуЗИОННОМ ГОРЕНИИ

Несмотря на принимаемые меры по снижению выброса вредных веществ с отработавшими газами транспортных средств в атмосферу, качество воздуха улучшилось не так существенно, как ожидалось. При этом перечень способов воздействия на эмиссию вредных веществ достаточно разнообразен, но даже полный отказ от тепловых двигателей в пользу электродвигателей не обеспечивает существенное снижение содержания в атмосфере вредных веществ. Трудность реализации всей совокупности способов обусловлена тем фактом, что одновременно со снижением эмиссии вредных веществ необходимо обеспечение высокой топливной экономичности двигателей. При этом если воздействие на продукты неполного сгорания – оксид углерода, дисперсные частицы, углеводороды топлива и смазочного масла – одновременно снижает расход топлива, то эмиссия оксидов азота увеличивается. В связи с этим именно процессы окисления азота в ходе сжигания топлива привлекают особое внимание исследователей. В связи с этим большое внимание уделяется моделированию процессов образования и разложения оксида азота в ходе сгорания топлива в условиях, характерных для двигателей, с учётом типа смесеобразования и способа воспламенения топливо-воздушных смесей. В данной статье описывается модель окисления азота в условиях, характерных для дизельных двигателей - импульсном диффузионном горении предварительно перемешанных топлива и окислителя - с учётом степени подвижности реакции окисления на базе термического механизма образования оксида азота (NO). Это позволяет в случае малой подвижности учитывать только реакцию образования NO, пренебрегая реакцией его разложения, а при высокой подвижности – наоборот, учитывать только реакцию разложения NO, считая, что процесс образования происходит мгновенно.

Ключевые слова: дизель, диффузионное горение, оксид азота, степень подвижности реакции, концентрация в отработавших газах.

Введение

Для стимулирования работ по снижению загрязнения воздуха продуктами сгорания топлива в результате функционирования передвижных источников периодически принимаются ужесточающие требования к эмиссии вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС). В частности, для транспортных средств за последние 30 лет были изменены нормативы от уровня Евро-0 до уровня Евро-6, что соответствует ужесточению

норм на выбросы ВВ в десятки раз. Однако качество воздуха улучшилось не так существенно, как ожидалось, и в первую очередь это касается содержания в воздухе оксидов азота [1].

Для улучшения ситуации с содержанием ВВ в атмосфере применяются различные способы:

- разработка испытательных циклов, более точно отражающих реальные условия эксплуатации транспортных средств (предъявляя тем самым дополнительные требования к конструкции двигателей). Например, в США для городского, пригородного и междугородного движения характерны средние скорости: 0 - 25 миль/ч, 25 – 50 миль/ч и свыше 50 миль/ч, при этом доля выброса NO_x на этих режимах составляет 40 %, 23 % и 37 % [2];

- использование средств нейтрализации ВВ, находящихся в ОГ [3];

- применение альтернативных топлив [4; 5];

- наиболее радикальное решение – это использование электродвигателей (ЭД) как частично (гибридные автомобили одновременно с ДВС и ЭД), так и полностью (работа от аккумуляторов или топливных элементов). Но и в этом случае снижение загрязнения атмосферы просто переносится из мест эксплуатации автомобилей в места выработки электроэнергии за счёт сжигания топлива, необходимой как для подзарядки аккумуляторов, так и выработки водорода, необходимого для функционирования топливных элементов (при этом затраты на выработку водорода не оправдываются) [6; 7].

Работы, непосредственно связанные с совершенствованием ДВС посредством разработки рабочих процессов с пониженным выбросом ВВ с ОГ при одновременном обеспечении эффективности и топливной экономичности двигателей, требуют больших затрат времени и средств. Поэтому вполне естественно, что наряду с проведением экспериментальных исследований применяются расчётные методы оптимизации. В последние годы получило распространение использование искусственных нейронных сетей (ИНС) для моделирования различных процессов, в том числе и оптимизации эмиссии NO_x . Применение ИНС позволяет при проведении стендовых испытаний двигателей использовать в качестве исходных данных результаты экспериментальных измерений десятков различных параметров двигателя, обеспечивая их необходимое сочетание для минимизации эмиссии NO_x с ОГ. Однако область применимости ИНС для сокращения эмиссии ВВ ограничена существующей конструкцией двигателя в целом: варьировать в этом случае можно только регулировками отдельных систем и агрегатов, воздействующих на характер протекания рабочего процесса двигателя. Наибольший эффект от применения ИНС возможен в условиях реальной эксплуатации, т.е. обеспечивая необходимое сочетание регулировочных параметров двигателя с учётом режимов работы двигателя в условиях реального масштаба времени. На этапе же разработки нового рабочего процесса применение ИНС малоэффективно, поскольку слишком много факторов воздействует на протекание процессов топливоподачи, газообмена, смешения, воспламенения и сгорания, которые, к тому же, воздействуют и друг на друга [8].

Всё это обуславливает сложность и длительность реализации задачи снижения эмиссии ВВ при обеспечении эффективности и экономичности двигателя. Поэтому при проведении доводочных работ применяется моделирование различных процессов, в том числе процессов топливоподачи, смесеобразования, воспламенения и сгорания с учётом гидродинамики движения жидкостей, а также интегрального и дифференциального характера тепловыделения в постоянно изменяющемся объёме КС (согласно перемещению поршня) [9].

Материалы и методы

В отношении эмиссии оксидов азота определяющим фактором является учёт особенностей типа смесеобразования (предварительное или непосредственно в цилиндре двигателя) и способа воспламенения топливо-воздушной смеси (от электрической искры, от открытого пламени, от сжатия за счёт движения поршня от нижней мёртвой точки к верхней мёртвой точке). Характер окисления азота зависит от химического состава топлива только в той степени, в какой этот состав определяет температуру горения [10]. Поэтому проведение расчетных исследований процесса окисления азота не требует учета сложных кинетических процессов, связанных с распадом исходных углеводородов и образованием промежуточных продуктов строго определенного химического состава. Это позволяет сократить объем экспериментальных исследований. Но достоверность таких расчетов определяется адекватностью принятой модели процесса горения в ДВС действительному характеру протекания процесса. При этом модели образования оксида азота NO в ДВС с внешним смесеобразованием [11; 12; 13] базируются на модели гомофазного горения, что предопределило использование осредненных значений концентраций окислителя и температуры. Такие модели не отражают особенности процессов смесеобразования и горения, характерные для ДВС с внутренним смесеобразованием (дизельных двигателей).

Особенность горения в дизеле связана с периодичной подачей в цилиндр предварительно неперемешанных топлива и окислителя, что предопределяет наличие двух типов горения: быстрого (взрывного, кинетического) и диффузионного (обусловленного длительностью процесса топливоподачи и соответственно продолжающимся процессом смешения топлива и окислителя). Характеристики первого типа горения обуславливаются процессом распространения пламени по предварительно подготовленной за период задержки воспламенения топливовоздушной смеси, т.е. кинетикой. Характеристики второго типа горения определяются макрокинетическими процессами, связанными с неоднородностями концентраций реагентов (топлива, окислителя, продуктов сгорания (ПС)) и температуры в зоне реакции, что обуславливает характер процессов тепло- и массопереноса (диффузии). Возникающий при этом диффузионный фронт пламени стабилизируется на изоповерхности с постоянным значением коэффициента избытка воздуха $\alpha=1$ (на т.н. изостехиометрической поверхности) [14]. Соответственно, в дизеле существует две фазы горения: фазы нестационарного формирования диффузионного фронта пламени и фазы квазистационарного диффузионного горения. Таким образом, характерной особенностью горения

топлива в дизеле является наличие диффузионного режима в течение всего процесса горения [15].

Содержание NO в ПС определяется критерием подвижности реакции образования NO, т.е. критерием способности текущей концентрации NO следовать за равновесной $[NO]$ в ходе изменения температуры ПС. Степень подвижности (малая или высокая) определяется согласно следующему выражению [10]:

$$NO/[NO]_m = f(K_m \cdot [NO]_m \cdot \tau),$$

где $NO/[NO]_m$ – безразмерный выход оксида азота, представляющий собой отношение концентрации NO в ПС к равновесной концентрации $[NO]_m$ при температуре горения T_m ;

$K_m \cdot [NO]_m \cdot \tau$ – безразмерный критерий подвижности реакции окисления азота;

τ – время реакции, зависящее от скорости охлаждения ПС.

Для случая гомогенного горения понятие подвижности применяется для всего процесса в целом. Если температура горения низка, то закалка NO происходит сразу же после прекращения горения, т.е. при температуре практически равной температуре горения T_m – это случай малой подвижности. При достаточно высокой температуре горения закалка происходит при т.н. температуре закалки T_z , которая ниже температуры горения, – это случай высокой подвижности.

Для диффузионного горения понятие подвижности реакции нельзя применять в целом ко всему процессу вследствие относительно большой продолжительности процесса горения. Таким образом, из теоретических соображений, текущая концентрация NO достигает в зоне, непосредственно прилегающей к фронту диффузионного пламени, равновесной концентрации $[NO]_m$. Соответственно степень подвижности реакции образования NO при диффузионном горении должна быть высокой.

Результаты и обсуждение

Подобно ПС, диффундирующим из зоны их максимальной концентрации – зоны горения, образующийся оксид азота также диффундирует из зоны максимальной концентрации NO, обуславливаемой оптимальным сочетанием температуры и концентрации окислителя. Поэтому концентрация NO в течение данного процесса изменяется в соответствии с изменением упомянутых параметров вплоть до момента закалки ($NO = [NO]_z$), после чего концентрация оксида азота не изменяется.

Поэтому для случая диффузионного горения процесс накопления NO в продуктах сгорания обуславливается величиной потока оксида азота GNO через поверхность закалки F_z , в отличие от гомогенного горения, где определяющим содержанием NO в продуктах сгорания фактором является процесс охлаждения при неизменной концентрации кислорода и отсутствии диффузии NO.

В начальном периоде сгорания относительно заметная разница между температурой во фронте пламени T_m и температурой закалки T_z компенсируется очень большой величиной dT/dX . В дальнейшем значение величины T_m падает, но снижается и значение dT/dX . Поэтому можно принять, что площадь поверхности F_z (соответствующая температуре T_z) мало отличается от площади поверхности

F_d (соответствующей максимальному значению равновесной концентрации $[NO]_{max}$). Это позволяет определять суммарный поток G_{NO} через поверхность закали F_3 интегрированием по поверхности F_d :

$$NO_{or} = \int_0^{\tau} dt \int_0^{F_d} G_{NO} dF_d \quad (1)$$

где τ – время процесса горения;

NO_{or} – итоговая концентрация NO в отработавших газах.

Для определения необходимых величин принимаются следующие допущения:

- процессы тепло- и массопереноса при диффузионном горении подобны. Принимаем, что коэффициенты диффузии «D» и температуропроводности «a» равны, соответственно число Льюиса $L_c = D/a = 1$;

- распределение температуры в сечении нормальном поверхности диффузионного фронта пламени линейно [16];

- положение поверхности закали F_3 обусловливается степенью подвижности реакции окисления азота: чем выше степень подвижности, тем дольше текущая концентрация NO следует за падением равновесной $[NO]$ в ходе охлаждения, поэтому температура закали минимальна;

- при диффузионном горении влияние Махе-эффекта сказывается на окислении азота в той мере, в какой оно изменяет профиль температурного поля;

- процесс сажеобразования снижает температуру диффузионного пламени (до 20% от максимальной температуры горения T_m при горении углеводородных топлив [17]).

Интенсивность охлаждения ПС (время t_{Σ}) зависит от характера движения поршня (сжатие или расширение) – dT/dt_{c-p} – и от процесса диффузии NO из зоны его максимального образования – « $U_d \cdot dT/dX$ »:

$$dT/dt_{\Sigma} = dT/dt_{c-p} + U_d \cdot dT/dX \quad (2)$$

где U_d – диффузионный поток NO из зоны его максимального образования.

При сжатии происходит нагрев ПС, при расширении – их охлаждение. В соответствии с этим изменяется значение параметра dT/dt_{Σ} . Температурный градиент dT/dX зависит от температуры диффузионного пламени T_m , температуры T_o в зоне окислителя и разности координат между T_m и T_o по оси X – т.н. «ширины тепловой волны» δ_r . С течением времени тепловая волна диссипирует (температурная неравномерность стремится выровняться) и δ_r увеличивается. Значения T_m и T_o зависят от изменения давления в КС, и их относительное изменение невелико: характерные значения $T_m = 2000...2500$ К (максимальные – 2900 К для $T_o = 800...1200$ К) [18]. В то же время, в начальный момент $\delta_r \rightarrow 0$, а в конце процесса сгорания δ_r имеет масштаб КС. Диффузионный поток NO пропорционален коэффициенту диффузии.

Как видно из формулы (1), для определения итогового содержания оксида азота в ОГ дизеля необходимо знание функции $F_d = F_d(\tau)$ – изменение поверхности диффузионного фронта пламени в течение процесса горения. Величина F_d до момента установления квазистационарного диффузионного режима горения ($\tau = t_w$) зависит от изменения изостехиометрической поверхности $F = F(\tau)$. После момента t_w получаем $F_d = F$, и дальнейшее изменение поверхности F_d зависит только

от процесса смешения. Изменение же самой поверхности происходит двумя стадиями: 1) до момента t_w и при продолжении подачи топлива поверхность F_d «доставляется», 2) после наступления момента t_w поверхность F_d одновременно «растягивается» (до момента окончания подачи топлива) и сжимается (за счет выгорания топлива).

На рис.1 представлены Результаты моделирования накопления оксида азота в ОГ дизеля при изменении регулировочных параметров – установочного угла опережения впрыскивания топлива Θ и коэффициента избытка воздуха α – адекватно описывают влияние указанных параметров на эмиссию оксидов азота с ОГ; здесь $DХз$ – характерное расстояние закали – определяет продолжительность периода накопления закаленного NO_x в продуктах сгорания (условием является отличие $DХз$ от нуля).

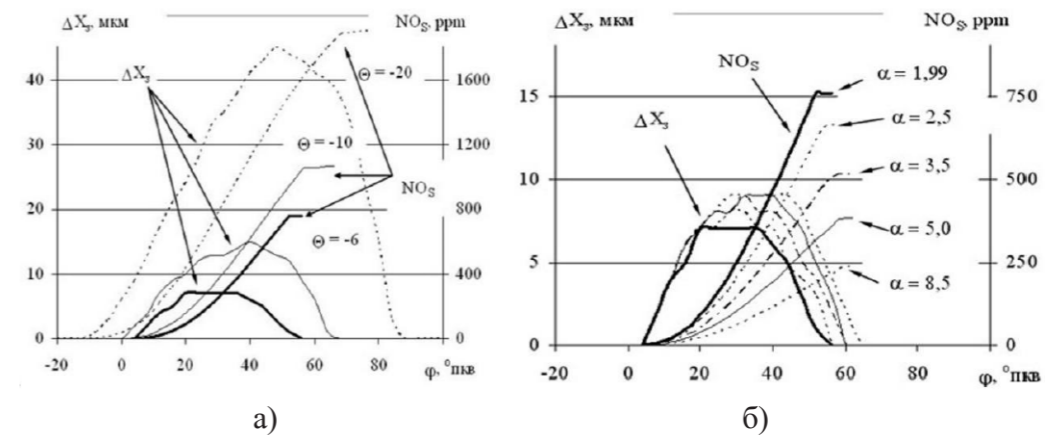


Рисунок 1 – Моделирование накопления закаленного оксида азота в продуктах сгорания дизеля при изменении регулировочных параметров. Обозначения: а) $\alpha = 1,99$; б) $\Theta = 6$ °пкв до ВМТ.

Выводы

Несмотря на принимаемые меры по снижению выброса в атмосферу вредных веществ с отработавшими газами транспортных средств, качество воздуха улучшилось не так существенно, как ожидалось.

Повышение эффективности работ по улучшению экологических характеристик тепловых двигателей требует наряду с проведением традиционных экспериментальных исследований применение моделирования процессов образования вредных веществ в ходе горения топлива в цилиндре с учетом особенностей процесса смесеобразования и типа воспламенения топливо-воздушной смеси.

Характерной особенностью горения топлива в дизеле является наличие диффузионного режима в течение всего процесса горения, что обуславливает высокую степень подвижности реакции окисления азота. Это позволяет при расчетах пренебречь реакцией образования оксида азота NO, считая ее скорость бесконечно большой, и учитывать только реакцию его разложения, поэтому

время следования текущей концентрации NO за равновесной концентрацией [NO] максимально, а температура закалки минимальна.

Для случая диффузионного горения процесс накопления NO в продуктах сгорания обуславливается величиной потока оксида азота через поверхность закалки, в отличие от гомогенного горения, где определяющим содержанием NO в продуктах сгорания фактором является процесс охлаждения при неизменной концентрации кислорода и отсутствии диффузии оксида азота.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Reducing NOx Emissions on the Road [Text]. – European conference of ministers of transport, 2006. – 51 p.

2 Badshah, H., Posada, F., Muncrief, R. Current state of NOx emissions from in-use heavy-duty diesel vehicles in the United States. / The Internashional Council on Clean Transportation, November 2019. – 36 p.

3 Кавтарадзе, Р. З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород [Текст] – Москва : Изд-во МГТУ, 2011. – 238 с.

4 Горбунов, В. В., Патрахальцев, Н. Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В. В. Горбунов, Н. Н. [Текст] – Москва : Изд-во РУДН, 1998. – 214 с.

5 Васильев, И. П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля [Текст]. – Луганск: Изд-во ВНУ, 2009. – 240 с.

6 Филькин, Н. М., Умняшкин, В. А., Музафаров, Р. С. Гибридный автомобиль: основы проектирования, конструирования и расчета [Текст]. – Москва : Изд-во Форум, 2024. – 240 с.

7 Галлямов, М. О., Хохлов, А. Р. Топливные элементы с полимерной мембраной [Текст]. – Москва : Изд-во МГУ, 2014. – 72 с.

8 Garg, A., Diwan, P., Saxena, M. Artificial Neural Networks for Internal Combustion Engine Performance and Emission Analysis [Text]. – International Journal of Computer Applications (0975–8887), Volume 87, No.6, 2014. – P. 23–27.

9 Arun, T. D. A. et al. Advanced Numerical Analysis of In-Cylinder Combustion and NOx Formation Using Different Chamber Geometries [Text] – Fire 2024, 7, 35. – 17 p.

10 Зельдович, Я. Б., Садовников, П. Я., Франк-Каменецкий, Д. А. Окисление азота при горении [Текст]. – Москва.-Ленинград : Изд-во АН СССР, 1947. – 147 с.

11 Altenkirch R. A. et al. Nitric Oxide Formation Around Droplets Burning at Elevated Pressure [Text]. – Combustion Science and Technology, 1972, vol.5, P. 147–154.

12 Khan L. M. et al. Factors Affecting Smoke and Gaseous Emission from DI Engines and a Method of Calculation [Text]. – SAE Paper 730169, 1973. – 23 p.

13 Polymeropoulos, C. E., Peskin, R. L. Combustion of Fuel Vapor in a Hot, Stagnant Oxidizing Environment [Text]. – Combustion Science and Technology, 1972, vol.5. – P. 165–174.

14 Burke, S. P., Schumann, T. E. Diffusion Flames [Text]. – Industrial Engineering Chemistry, 1928, vol.20, N10. – P. 998–1004.

15 Махов, В. З., Гусаков С. В. Исследование особенностей формирования фронта диффузионного пламени в дизеле [Текст]. – Физика горения и взрыва, 1983, № 5. – с. 21 – 25.

16 Гусаков, С. В. Физико-химические основы процессов смесеобразования и сгорания в ДВС. Основы теории горения [Текст]. – Москва: Изд-во РУДН, 2001. – 134 с.

17 Бурико, Ю. Я., Кузнецов, В. Р. О возможном механизме образования окислов азота при турбулентном диффузионном горении [Текст]. – Физика горения и взрыва, 1978, № 3. – с. 32-42.

18 Heinrich, G. et al. Spektrometrisches mebbebung in Diesemotor [Text]. – MTZ, 1978, 39, № 9. – P. 380–385.

Поступило в редакцию 05.04.2024.

Поступило с исправлениями 09.04.2024.

Принято в печать 30.04.2024.

REFERENCES

1 Reducing NOx Emissions on the Road [Text]. – European conference of ministers of transport, 2006. – 51 p.

2 Badshah, H., Posada, F., Muncrief, R. Current state of NOx emissions from in-use heavy-duty diesel vehicles in the United States. / The Internashional Council on Clean Transportation, November 2019. – 36 p.

3 Kavtaradze, R. Z. Teplofizicheskie processy` v dizelyax, konver-tirovanny`x na prirodny`j gaz i vodorod [Thermophysical processes in diesel engines converted to natural gas and hydrogen] [Text] – Moscow : MSTU Publishing House, 2011. – 238 p.

4 Gorbunov, V. V., Patrahaltsev, N. N. Patraxal`cev, N. N. Toksichnost` dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Toxicity of internal combustion engines] / V. V. Gorbunov, N. N. [Text] – Moscow : RUDN Publishing House, 1998. – 214 p.

5 Vasiliev, I. P. Vliyanie topliv rastitel`nogo proisxozhdeniya na e`kologicheskie i e`konomicheskie pokazateli dizelya [The influence of plant fuels on the environmental and economic performance of diesel] [Text]. – Lugansk : VNU Publishing House, 2009. – 240 p.

6 Filkin, N. M., Umnyashkin, V. A., Muzafarov, R. S. Gibrilny`j avtomobil` : osnovy` proektirovaniya, konstruirovaniya i rascheta [Hybrid car : basics of design, construction and calculation] [Text]. – Moscow : Forum Publishing House, 2024. – 240 p.

7 Gallyamov, M. O., Khokhlov, A. R. Toplivny`e e`lementy` s poli-mernoj membranoj [Fuel cells with a polymer membrane] [Text]. – Moscow : Moscow State University Publishing House, 2014. – 72 p.

8 **Garg, A., Diwan, P., Saxena, M.** Artificial Neural Networks for Internal Combustion Engine Performance and Emission Analysis [Text]. – International Journal of Computer Applications (0975–8887), Volume 87, No.6, 2014. – P. 23–27.

9 **Arun, T. D. A. et al.** Advanced Numerical Analysis of In-Cylinder Combustion and NOx Formation Using Different Chamber Geometries [Text] – Fire 2024, 7, 35. –17 p.

10 **Zeldovich, Ya. B., Sadovnikov, P. Ya., Frank-Kamenetsky, D. A.** Okislenie azota pri gorenii [Nitrogen oxidation during combustion] [Text]. – Moscow. – Leningrad : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1947. – 147 p.

11 **Altenkirch R. A. et al.** Nitric Oxide Formation Around Droplets Burning at Elevated Pressure [Text]. – Combustion Science and Technology, 1972, vol.5, P. 147–154.

12 **Khan L. M. et al.** Factors Affecting Smoke and Gaseous Emission from DI Engines and a Method of Calculation [Text]. – SAE Paper 730169, 1973. – 23 p.

13 **Polymeropoulos, C. E., Peskin, R. L.** Combustion of Fuel Vapor in a Hot, Stagnant Oxidizing Environment [Text]. – Combustion Science and Technology, 1972, vol. 5. – P. 165–174.

14 **Burke, S. P., Schumann, T. E.** Diffusion Flames [Text]. – Industrial Engineering Chemistry, 1928, vol.20, N10. – P. 998–1004.

15 **Makhov, V. Z., Gusakov S. V.** Issledovanie osobennostej formirovaniya fronta diffuzionnogo plameni v dizele [Study of the features of the formation of a diffusion flame front in a diesel engine] [Text]. – Physics of Combustion and Explosion, 1983, No. 5. – P. 21–25.

16 **Gusakov, S. V.** Fiziko-ximicheskie osnovy` processov smeseobra-zovaniya i sgoraniya v DVS. Osnovy` teorii goreniiya [Physico-chemical foundations of the processes of mixture formation and combustion in internal combustion engines. Fundamentals of combustion theory] [Text]. – Moscow : RUDN Publishing House, 2001. – 134 p.

17 **Buriko, Yu. Ya., Kuznetsov, V. R.** O vozmozhnom mexanizme obrazovaniya okislov azota pri turbulentnom diffuzionnom gorenii [On the possible mechanism of the formation of nitrogen oxides during turbulent diffusion combustion] [Text]. – Physics of combustion and explosion, 1978, No. 3. – P. 32–42.

18 **Heinrich, G. et al.** Spektrometrisches meßverfahren in Diesemotor [Spektrometrisches meßverfahren in Diesemotor] [Text]. – MTZ, 1978, 39, No. 9. – P. 380–385.

А. Р. Кульчицкий

«Камешково механикалық зауыты» АҚ,

Ресей Федерациясы, Камешково қ.

13.05.2024 ж. баспаға түсті.

05.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.

14.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

АЗОТТЫҢ ТОТЫНДУ РЕАКЦИЯСЫНЫҢ ҚҰТҚЫЛЫҒЫН ЕСЕП ДИФфуЗИЯЛЫҚ ЖАНУМЕН

Автокөлік қалдықтарынан атмосфераға зиянды заттардың шығарылуын азайту бойынша қабылданған шараларға қарамастан, ауа сапасы күткендей айтарлықтай жақсарған жоқ. Сонымен қатар, зиянды заттардың шығарындыларына әсер ету тәсілдерінің тізімі айтарлықтай әртүрлі, бірақ тіпті жылу қозғалтқыштарын электр қозғалтқыштарының пайдасына толығымен бас тарту атмосферадағы зиянды заттардың мазмұнының айтарлықтай төмендеуін қамтамасыз етпейді. Әдістердің барлық кеініні енгізудің қиындығы зиянды заттардың шығарындыларын азайтумен бір мезгілде қозғалтқыштардың жоғары отын тиімділігін қамтамасыз ету қажет екендігіне байланысты. Оның үстіне толық емес жану өнімдеріне – көміртегі тотығына, дисперстік бөлшектерге, жанар-жағармайдың көмірсутектеріне және майлау майына әсер ету бір мезгілде жанармай шығынын азайтса, онда азот оксидтерінің шығарылуы артады. Осыған байланысты отынның жануы кезіндегі азоттың тотығу процесі зерттеушілердің ерекше назарын аударады. Осыған байланысты қозғалтқыштарға тән жағдайларда отынның жануы кезінде азот оксидінің түзілу және ыдырау процесін, қоспаның түзілу түрін және отын-ауа қоспаларының тұтану әдісін ескере отырып модельдеуге көп көңіл бөлінеді. Бұл мақалада азот оксиді (NO) түзілудің термиялық механизмі негізінде тотығу реакциясының қозғалғыштық дәрежесін ескере отырып, дизельдік қозғалтқыштарға тән жағдайларда азот тотығу моделі сипатталған – алдын ала араласқан отын мен тотықтырғыштың импульстік диффузиялық жануы. Бұл аз қозғалғыштық жағдайында оның ыдырау реакцияларын елемей, тек NO түзілу реакциясын есепке алуға, ал жоғары қозғалғыштықта, керісінше, NO ыдырау реакциясын ғана есепке алуға мүмкіндік береді. қалыптасу процесі бірден жүреді.

Кілтті сөздер: дизель, диффузиялық жану, азот оксиді, реакцияның қозғалғыштығы дәрежесі, пайдаланылған газдардағы концентрациясы.

R. Kulchitskiy

JSC «Kameshkovo Mechanical Plant»,

Russian Federation, t. Kameshkovo

Received 13.05.2024.

Received in revised form 05.06.2024.

Accepted for publication 14.06.2024.

**ACCOUNTING FOR THE MOBILITY OF THE NITROGEN
OXIDATION REACTION WITH DIFFUSION COMBUSTION**

Despite measures taken to reduce the emission of harmful substances from vehicle exhaust into the atmosphere, air quality has not improved as significantly as expected. At the same time, the list of ways to influence the emission of harmful substances is quite diverse, but even a complete rejection of heat engines in favor of electric motors does not ensure a significant reduction in the content of harmful substances in the atmosphere. The difficulty of implementing the entire set of methods is due to the fact that, simultaneously with reducing emissions of harmful substances, it is necessary to ensure high fuel efficiency of engines. Moreover, if the impact on the products of incomplete combustion - carbon monoxide, dispersed particles, hydrocarbons of fuel and lubricating oil - simultaneously reduces fuel consumption, then the emission of nitrogen oxides increases. In this regard, it is the processes of nitrogen oxidation during fuel combustion that attract special attention from researchers. In this regard, much attention is paid to modeling the processes of formation and decomposition of nitrogen oxide during fuel combustion under conditions characteristic of engines, taking into account the type of mixture formation and the method of ignition of fuel-air mixtures. This article describes a model of nitrogen oxidation under conditions characteristic of diesel engines - pulsed diffusion combustion of pre-mixed fuel and oxidizer - taking into account the degree of mobility of the oxidation reaction based on the thermal mechanism of nitrogen oxide (NO) formation. This allows, in the case of low mobility, to take into account only the reaction of NO formation, neglecting the reactions of its decomposition, and at high mobility, on the contrary, to take into account only the reaction of NO decomposition, assuming that the formation process occurs instantly.

Keywords: diesel, diffusion combustion, nitrogen oxide, degree of reaction mobility, concentration in exhaust gases.

УДК 629.113.004

***У. А. Мурзахметова¹, А. М. Алшынова², А. Р. Қабашев¹, М. Р. Қабашева¹, А. Қ. Изембаева¹**¹«Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты»,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,²«Алматы Технологиялық университеті», Қазақстан Республикасы, Алматы қ.*e-mail: u_murzakhmetova@mail.ru**ҚАРҚЫНДЫ ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІМЕН ҚАЛПЫНА
КЕЛТІРУМЕН ИІНДІ-БІЛІКТІҢ САПАСЫН АРТТЫРУ**

Автомобиль қозғалтқыштарының құрамдас бөліктерінің, механизмдерінің және жүйелерінің техникалық жағдайындағы өзгерістердің заңдылықтарын қозғалтқыштың өнімділігін сақтауда байланысты ресурстар мен жұмсалатын шығындарды анықтайды. Автомобиль қозғалтқыштарының пайдаланудағы ұзақ мерзімділігін арттыру тасымалдау үдерісінің пайдалану шығындарын азайтудың маңызды факторларының бірі болып табылады. ЦПТ бөлшектерін жөндеу кезінде өте қымбат және техникалық жөндеуде күрделі үдерістің бірі болатын «цилиндр-поршеньдік сақина» үйлесімін қалпына келтірудің технологиялық үдерісі болып отыр. Олардың тозуға төзімділігін арттыру мақсатында автомобиль қозғалтқышының цилиндрлерін қалпына келтірудің жаңа тиімді әдістері мен технологияларын жасау болып отыр.

Бұл мақалада, автомобиль қозғалтқыштарының иінді біліктерін қалпына келтіруге арналған заманауи технологияларының негізгі ерекшеліктерін қарастыру болып отыр. Электрлі эрозияға ұшырағыш материалдары негізінде жаңа плазмалық жабындарды қолдану арқылы тозған автомобиль бөлшектерінің беткі қабатын жабындылаумен қалпына келтірудің тиімді технологиясын пайдалануға негізделген. Жоғары жылдамдықты болат қалдықтарынан электрлі-эрозиялық дисперсия арқылы алынған ұнтақтың гранулометриялық құрамы бойынша зерттеулер жүргізілді. Зерттеу Фраунгофер әдісі бойынша екі кезеңде өткізілді, яғни сұйықта дисперсиялаумен, кейінірек фондық өлшеу және соңынан плазмалық ұнтақпен жабу арқылы үдерісті орындаудан тұрады. Үйкеліс және ұстау моментін сыргумен үйкелісу салдарынан болатты шарлармен түйісетін беттеріндегі жүктеменің жоғарылауын қолданумен зерттелді.

Алынған мәліметтер металл қалдықтарын плазмалық-ұнтақты төсеніш жасаумен материалдар көзі ретінде қолданыс ресурстарын үнемдеу, қоршаған ортаны қорғау және автомобиль қозғалтқыштарын қалпына келтіру жұмыстарының жоғары құнын шешуге болатынын көрсетті. Фазалық талдау электроэрозиялық дисперсия арқылы алынған жабындының микротаптылығы 1,4 есе, ал автомобиль қозғалтқышының иінді білігінің беріктік сипаттамалары 2 есе артқанын көрсетті.

Кілтті сөздер: иінді білік, үстіңгі қабат, қозғалтқыш, процесс, микротаптылық, пайдаланудағы қасиеттері.

Кіріспе

Бүгінгі таңның тәжірибесі көрсеткендей, жұмыс жасайтын шағын өлшемді иінді біліктерді жаңасына ауыстыру арзанырақ болып келеді, ал үлкен өлшемді иінді біліктерді ауыстыруға қарағанда, оны жөндеумен қалпына келтіру дұрыс деп есептедік, өйткені мұндай шешім үнемді деп есептейміз. Себебі бұйымды беткі қабатын қалпына келтірумен өңдеу – металды материалды бұйымдарды өндірістік жағдайда және қолданыстағы ресурстарын айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді. Осыған қарамастан, базалық технологиялық мәселелер және механикалық өңдеулер жағдайында кейбір қиындықтар туындауы мүмкін [1, 2].

Жаңа жөнделумен ақауын жойылған немесе бұзылыс түрі кемітілген, жабынды материалдың немесе кешенді материалдардың оңтайлы сипаттамаларымен иінді біліктің металды жабындыларының жұмыс беттерінің тозуға төзімділігін оңтайлы өңделуімен тұтқырлығын жақсарту арқылы жаңа қалпына келтірілген біліктің сапасын жақсартуға болатынын анықтап отырмыз.

Тәжірибеде, көбінесе, флюс қабатын электрлі доғалы жабындылау негізінде қалпына келтіру технологияларын жиі қолданады. Қолданыстағы отандық технологиялардан негізгі айырмашылықтары иінді білік мойынының жұмыс беттері мен әртүрлі жабынды материалдарды қолдану, жабындау отынының кинематикалық күрделі қозғалысын және дәнекерленген беттерге қажетті жоғары қаттылықты беру үшін орташа температуралы шынықтыру режимін қолдану болып табылады. Сондай-ақ, бөлшектің беткі қабатын алдын-ала қыздыру режиміне және ақауларды мұқият жоюмен өңдеу жүргізуге өте көп назар аударады. Осының барлығы шетелдік технологияларды отандық технологиялардан ерекшелендіреді және технологиялық үдерістің жеке операцияларының физикасын жан-жақты зерттеу қажеттілігін білдіреді [2–5].

Жұмыстың мақсаты – электрлі-эрозиялық материалдарды пайдалана отырып, плазмалық-ұнтақты жабындыны дәнекерлеумен ірі габаритті иінді біліктерді ақауын жою технологиясын жетілдіру арқылы беріктігін арттыру болып табылады.

Зерттеу объектісі. Электрлі-эрозиялық материалдарды қолдану арқылы ұсынылған технология бойынша қалпына келтірумен жөнделген КамАЗ қозғалтқыштарының қолданыстағы иінді біліктері.

Материалдар және әдістер

Тәжірибелік жағдайда, иінді біліктерді беткі қабатын қалпына келтіруді плазмалық жабынды ендіру арқылы перспективтік әдістерін қолдану қарастырамыз. Бұл жағдайда өнеркәсіпте өндірілген, бірақ айтарлықтай қымбат сымдарды немесе ұнтақты материалдарды пайдаланылды. Бұл мәселенің шешімін электрлі-эрозиялық ұнтақты материалдарды қолдану арқылы алуға болады. Электрлі-эрозиялық ұнтақтар және олардың композициялары доғаға ұнтақ айдау арқылы плазмалық жабындының озық әдістерін қолдана отырып, ірі габаритті бөлшектерді қалпына келтірумен жөндеу және нығайту үшін пайдалануға болады. Құрамында көміртегісі бар сұйықтықтар ортасында тез кесетін болаттар қалдықтарынан алынған ұнтақтарға ерекше назар аударуымыз қажет. Бұл ұнтақты алу үдерісінде оның құрамында карбидтердің, атап айтқанда, вольфрам карбидтерінің (WC)

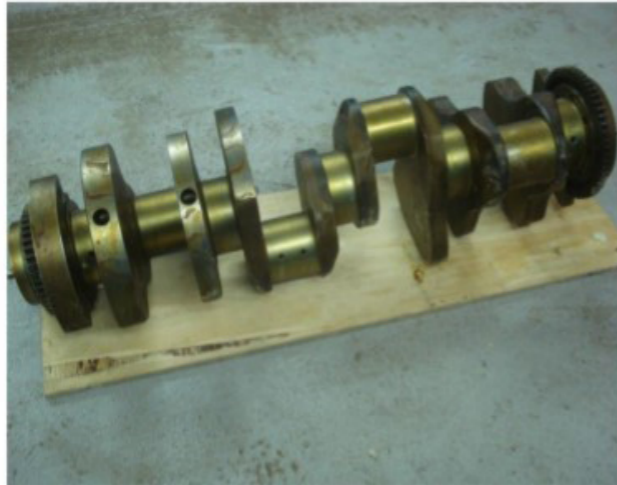
пайда болуына байланысты. Автомобиль қозғалтқыштарының бөлшектерінің тозуға төзімділігін ұзарту мақсатымен бөлшектерді жөндеумен қалпына келтіру үшін аталған ұнтақты пайдалану өте маңызды екенін білеміз [6, 7]. Металды қалдықтарды жабынды материалының негізі ретінде қолдану үшін ресурсты үнемдеу, қоршаған ортаны қорғау және қалпына келтіру жұмыстарының жоғары құны мәселелерін шешуге мүмкіндік береді. Эксперименттік зерттеулерді жүргізу үшін, алынған жабындылардың да, жабындыларды материалдардың да қасиеттерін теориялық және эксперименттік жүзде кешенді зерттеулер жүргіземіз.

Электрлі-эрозиялық өңдеу үдерісі материал бөлшектерінің беткі қабатынан электрлі разрядының импульсін жоюға негізделген. Кернеуді анықтауда, демек сұйық диэлектрикке батырған кездегі электродтар арасындағы қашықтық және олар жақындағанда - бұл кернеудің жоғарылауы диэлектриктің бұзылуын тудырады және олардың арнасында жоғары температуралы плазма пайда болатын электрлі разряды пайда болады.

Электрлі-эрозиялық дисперсия әдісін қолдана отырып, тез кесетін болат қалдықтарынан ұнтақтарды алудың технологиялық үдерісі әзірленді, ол келесі негізгі операцияларды қамтиды:

1. Тез кесетін болат маркалары (химиялық құрамы) бойынша қалдықтарды жинау және сорттау.
2. Қоқыстарды тазалау (ластанудан, жоңқалардан).
3. Тез кесетін болат қалдықтарын реакторға тиеу және электродтарды қосу.
4. Реакторға жұмыс сұйықтығын (дистильденген су немесе жарықтандырылған керосин) құю.
5. Дисперсия режимдерін таңдау (кернеу, конденсатордың сыйымдылығы және импульстің қайталану жиілігі).
6. Электрлі-эрозиялық бұрку.
7. Жұмыс сұйықтығын тұндыру және ағызу.
8. Центрифугалау арқылы наноөлшемді фракцияны бөліп алу.
9. Химиялық ұнтақты тазалау (қажет болған жағдайда).
10. Ұнтақты пеште 150-200°C температурада 20-30 минут күйдіру.
11. Сапаны бақылау.

Зерттеулер жүргізу үшін бес негізгі және төрт шатунды мойыны бар, беткі қабаттарымен түйіскен 42ХМФА маркалы болаттан жасалған Еуро-2 КамАЗ-740 азотталғаниінді білігінің беткі қабатын ұнтақты материалмен жабылған үлгіні қолданамыз (1-сурет) Жұмыс жүрістерінің біркелкі кезектесіп тұруы үшін иінді біліктің шатундық мойынын 90° бұрышпен орналастырылған [6]. Иінді білікті 0,5...0,7 мм тереңдікке азоттау арқылы шынықтырылады, шынықтырылған қабаттың қалыңдығы 600 HV кем емес.



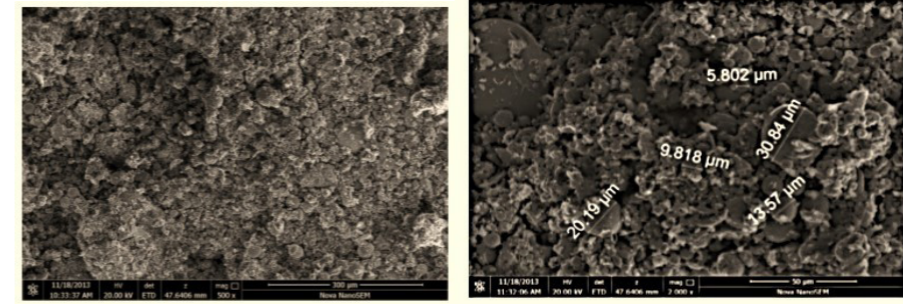
Сурет 1 – 42ХМФА болатынан дайындалған
КамАЗ-дың азотталған иінді білігі

Иінді біліктердің жөндеуге жарамдығын HV0,3 қимасы боойынша микрокаттылығын өлшеумен зерттеулер жүргіздік. Технологиялық параметрлері ретінде 453 HV микрокаттылығын таңдадық. Өлшеу нәтижелері бойынша әрбір иінді білік үшін шынықтырылған қабаттың тереңдігі бойынша микрокаттылықтың таралу графигі тұрғызылды. 453 HV мәні - КамАЗ қозғалтқыштарын жөндеуден кейін индукциялық шынықтырумен иінді біліктердің шатундары мен негізгі мойыны рұқсат етілген ең аз қаттылығы болып отыр. Мұндай микрокаттылықты таңдаудың дұрыстығы КамАЗ қозғалтқышының 1000 сағат жұмысының сенімділік сынақтарымен расталды.

Нәтижелер және талқылау

Тез кесетін болат қалдықтарынан электрлі-эрозиялық дисперсия арқылы алынған ұнтақты гранулометриялық құрамы зерттелді. Зерттеуді екі кезеңде Фраунгофер әдісімен орындалды.

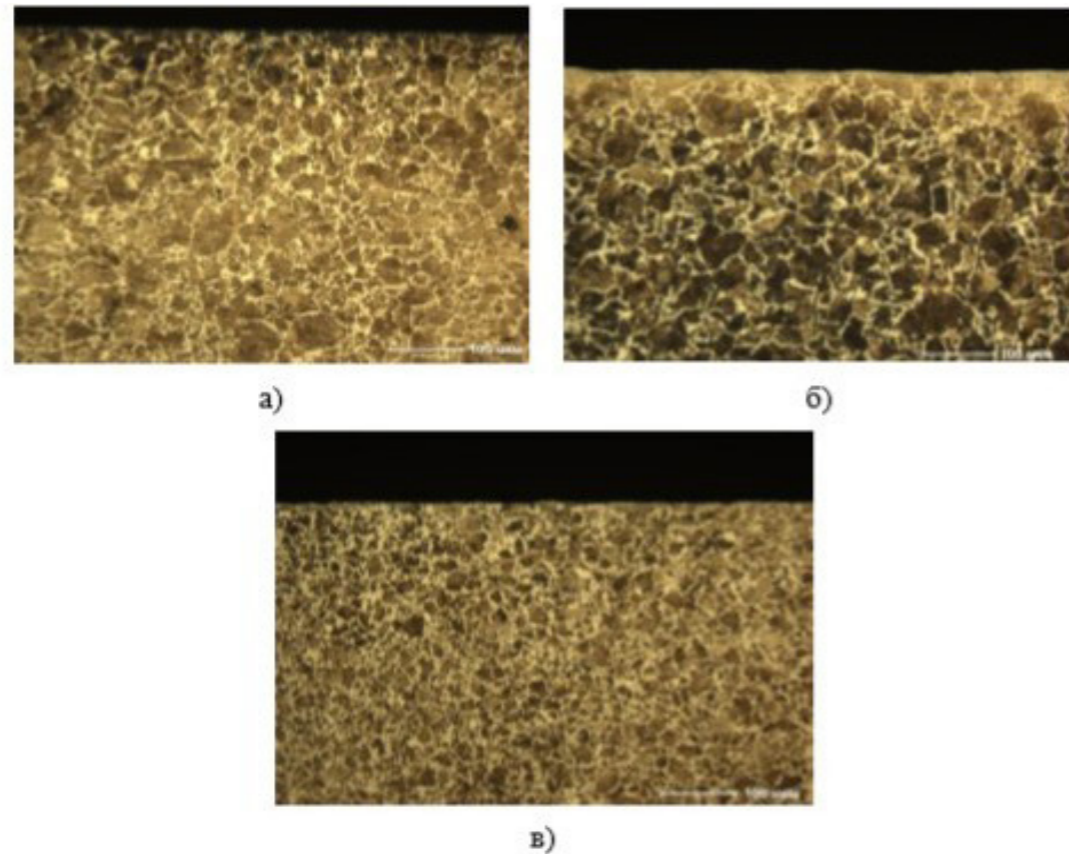
Алдымен, үлгілерді сұйықта дисперсиялаумен дайындап алып, содан соң онда фондық өлшемдер жүргізілді. Бұл өлшенген сұйықтықтың әсерін азайту үшін қажет және әрбір өлшем алдында фондық өлшеулер жүргізіліп отырды. Алдыңғы өлшемдерден кейінгі кез келген ластанудан қайта өлшенілді және оның ағымды нәтижелерге ісері жоқ деп білеміз. Зерттелетін үлгінің гранулометриялық құрамды салмақтың көлемін шамамен 1–5 грамм деп алып, көлемі 500 мл болатын сұйық дисперсиялық модульге орналастырдық. Р6М5 болат ұнтағының микробөлшектерінің пішіні мен өлшемін зерттеу үшін аталған болат маркасынан алынған үлгіні ИММ-901 электронды микроскоптың көмегімен 2-суретте көрсетілген микроқұрылымының суретін алдық.



Сурет 2 – БРС ұнтағы. x 1500

Алынған микроқұрылымның суретінен, БРС ұнтағын дисперсиялау арқылы алынған бөлшектер дұрыс пішінді сфералық пішінді екенін көріп отырмыз. Дисперсиялау салдарынан алынған бөлшектер өлшемі өте кіші екені көрсетті, сонымен қатар оны қозғалтқыштың беткі қабатын сапалы жабындаушы материал ретінде қолданған өте тиімді екенін айта кетейік.

Жабындауды 42ГМФА маркалы болатынан алынған 3 үлгіде жүргіздік, оны болатты үлгінің бетіне Р6М5 маркалы болатынан алынған электрлі-эрозиялық бөлшектерді плазмалы-ұнтақты әдіспен беткі қабатқа жабумен орындалды. Жабуан кейін үлгінің беткі қабатының қаттылығы өлшенді және оларға микроскопиялық талдаулар жасалды. Оның көлденең кесілген қимасының микроқұрылымының суреті төменде көрсетілген.



Сурет 3 – Микроқұрылымдық үлгі
а – 1 үлгі (X200); (б) – 2 үлгі (X200); (в) – 3 үлгі (X200)

Қорытынды

Р6М5 маркалы тез кесетін болат қалдықтарын керосинде электрлі-эрозиялық дисперсиялаумен алынған ұнтақтарды фазалық талдаудан оның негізгі фазалары темірден (Fe), магнетиттен (Fe₃O₄), гематиттен (Fe₂O₃), цементиттен (Fe₃C) және вольфрамнан (W) тұратыны анықталды. Жабындының микроқаттылығы 1,4 есе артқанын байқадық.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Потапов, Ю. С., Коростиль, А. П., Шевченко, Е. Г.** Прогрессивные способы восстановления коленчатых валов автомобильных двигателей. Кишинев : 1977, – 42 с.
- 2 **Кудряшов, В. А., Смирнов, И. М.** К вопросу о сверхрациональном способе восстановления работоспособности восстановленной рабочей силы // Известия Юго-Западного государственного университета, Курск. 2014, с. 8–13.
- 3 **Мурзахметова, У. А., Әлібекова, М. К., Жұмакешов, Ә. Н., Борамбай, Е. С.** Формирование структуры эксплуатационно-ремонтного цикла силовых агрегатов КамАЗ / Вестник КазАДИ. – Алматы. № 1, 2024, с. 54–62.

4 **Мурзахметова, У. А., Шевцов, К. А.** Мониторинг способов восстановления шеек коленчатого вала / Вестник КазАДИ. – Алматы. № 1, 2023, с. 56–62.

5 **Мурзахметова, Ұ. А., Борамбай, Е. С., Жұмакешов, Ә. Н., Нарымқол, А. М.** Автомобиль козғалтқышының бөлшектерін тиімді жөндеу және сапасын арттыру // ҚазАЖИ Хабаршысы. – Алматы. № 1, 2024, с. 70–74.

6 **Денисов, А. С.** Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей / А. С. Денисов. – Саратов : СГТУ, 2013. – 352 с.

7 **Асоян, А. Р.** Анализ изменения технического состояния ресурсопределяющих элементов дизелей КАМАЗ в процессе эксплуатации / А.Р. Асоян, А.С. Денисов, В.П. Захаров // Известия ВолгГТУ. – 2012. – № 8. – С. 32–35.

8 **Власов, В. М.** Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 480с.

9 **Сафонов, В. В., Буйлов, В. Н., Александров, В. А., Шишурин, С. А.** Планирование ремонтно-обслуживаемых работ хозяйства и разработка технологического процесса восстановления детали. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2011. – 100 с.

10 **Ананьин, А. Д.** Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высш. учеб. Заведений / А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов и др. – М. : Изд. центр «Академия», 2008. – 438с.- ISBN 978-5-7695-3985-5.

29.03.2024 ж. баспаға түсті.

04.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.

11.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

REFERENCES

1 **Potapov, Yu. S., Korostil, A. P., Shevchenko, E. G.** Progressivnyye sposoby vosstanovleniya kolenchatykh valov avtomobilnykh dvigatelei [Progressive methods for restoring crankshafts of automobile engines]. Chisinau:1977. – 42 p.

2 **Kudryashov, V. A., Smirnov, I. M.** K Voprosu o sverrathionalnom sposobe vosstanovleniya rabotosposovnosti vosstanovlennykh rabochei sily [On the issue of a super-rational method of restoring the working capacity of the restored workforce] // News of the South-Western State University, Kursk. 2014, p. 8-13.

3 **Dietenberger, M.** Development of a vehicle model that depends on the strain rate [] / Dietenberger M., Buyuk M., Kan S.-D. // 4th German LS-DYNA Forum. – Bamberg (Germany), 2005. – P. 1–10.

4 **Zakharov, V. P.** Formation of the structure of the operational and repair cycle of KamAZ-Euro engines [] / A. S. Denisov, V. P. Zakharov, A. R. Asoyan // Technological and organizational problems of machine service and ways to solve them : sb.nauch.tr. / Saratov. gos. tekhn.un-t. – Saratov, 2010. – P. 24–33.

5 **Murzakhmetova, U. A., Nurgaliev, B. Zh., Narymkulov, B. M.** Investigation of the stress-strain state of restored crankshafts [] // Collection of materials of the XVIII interuniversity scientific and practical conference of undergraduates and students, held

as part of the implementation of the New Economic Policy of Kazakhstan «Nurlyzhol – put v budushee», 2020, P. 135–142.

6 **Denisov, A. C.** Osnovy phormirovaniya ekspluatationno-remontnogo thikla avtomobilei [Fundamentals of the formation of the maintenance and repair cycle of automobiles] / A. C. Denisov. – Saratov : STGU, 2013. – 352 p.

7 **Assoyan, A. R.** Analiz ismeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya resursoopredelyayuschih elementov dizelei Kamaz v prothesse ekspluatathii [Analysis of changes in the technical condition of resource-determining elements of KAMAZ diesel engines during operation] / A. R. Assoyan, A. C. Denisov, V. P. Zakharov // Izbestiya VolGTU. – 2012. – № 8. – P. 32–35.

8 **Vlasov, V. M.** Tekhnicheskoe ovsluzhivanie I remont avtomobilei [Maintenance and repair of automobiles]. M. : Izdatelskii thentr «Academiya», 2003. – 480 p.

9 **Saphonov, V. V., Builov, V. N., Aleksandrov, V. A., Shishurin, S. A.** Planirovanie remontno- ovsluzhivaemykh rabot khozyaistva I rasrabotka tekhnologicheskogo prothessa vosstanovleniya detali [Planning of repair and maintenance work of the farm and development of a technological process for restoring parts]. Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saratov State Agrarian University». – Saratov, 2011. – 100 p.

10 **Ananin, A. D.** Diagnostika I tekhnicheskoe ovsluzhivanie machin [Diagnostics and maintenance of machines] a textbook for higher students. textbook Establishments / A. D. Ananin, V. M. Michlin, I. I. Gabitov I dr. – M. : Izd.thentr «Academiya», 2008. – 438 p. – ISBN 978-5-7695-3985-5.

**U. A. Murzakmetova¹, A. M. Alshynova², A. P. Kabashev¹, M. P. Kabasheva¹, A. K. Izembaeva¹*

¹Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л. Б. Гончарова, Республика Казахстан, г. Алматы

²Алматинский технологический университет, Республика Казахстан, г. Алматы
Поступило в редакцию 29.03.2024.

Поступило с исправлениями 04.06.2024.

Принято в печать 11.06.2024.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОЛЕНВАЛОВ С УЧЕТОМ ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Закономерности изменения технического состояния узлов, механизмов и систем автомобильных двигателей определяют затраты ресурсов и потери, связанные с поддержанием работоспособности двигателей. Повышение долговечности автомобильных двигателей в эксплуатации является одним из важных факторов минимизации эксплуатационных затрат перевозочного процесса. При ремонте деталей ЦПГ одним из наиболее дорогостоящих и технически сложных является технологический процесс восстановления сопряжения «цилиндр-поршневое кольцо». С целью повышения их

износостойкости разработка новых эффективных методов и технологий при восстановлении цилиндров автомобильных двигателей.

В данной статье рассмотрены основные особенности современных технологий восстановления коленчатых валов автомобильных двигателей. Обосновано использование эффективной технологии восстановления изношенных деталей автомобилей путем нанесения новых плазменных покрытий на основе электроэрозионных материалов. Проведены исследования гранулометрического состава порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования из отходов быстрорежущей стали. Исследование проводилось в два этапа по методу Фраунгофера, т.е. путем диспергирования в жидкости с последующим измерением фона и с последующей плазменно-порошковой наплавкой. Исследовался момент трения и схватывания при возрастающей нагрузке на сопряженных поверхностях стальных шариков при трении скольжения.

Полученные данные показали, что использование металлических отходов в качестве источника материалов для плазменно-порошковой наплавки позволяет решить проблему ресурсосбережения, защиты окружающей среды и высокой стоимости восстановительных работ двигателей автомобиля. Фазовый анализ показал, что полученный электроэрозионным диспергированием микротвердость покрытия увеличилась 1,4 раза, и в 2 раза увеличена прочностные характеристики коленчатого вала автомобильного двигателя.

Ключевые слова: коленчатый вал, наплавка, двигатель, процесс, микротвердость, эксплуатационные свойства.

**U. A. Murzakmetova¹, A. M. Alshynova², M. P. Kabasheva¹, A. P. Kabashev¹, A. K. Izembaeva¹*

¹Kazakh Automobile and Road Institute named after L. B. Goncharova Republic of Kazakhstan, Almaty

²Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan, Almaty
Received 29.03.2024.

Received in revised form 04.06.2024.

Accepted for publication 11.06.2024.

INCREASING THE QUALITY OF RESTORED CRANKSHAFTS TAKEN INTO ACCOUNT OF THEIR STRESS-STRAIN STATE

Patterns of changes in the technical condition of components, mechanisms and systems of automobile engines determine the costs of resources and losses associated with maintaining engine performance. Increasing the durability of automobile engines in operation is one of the important factors in minimizing the operating costs of the transportation process. When repairing CPG parts, one of the most expensive and technically complex is the technological process of restoring the “cylinder-piston ring” interface. In order to increase their wear resistance, the development of new effective methods and technologies for the restoration of automobile engine cylinders.

This article discusses the main features of modern technologies for restoring crankshafts of automobile engines. The use of an effective technology for restoring worn-out car parts by applying new plasma coatings based on electrical erosion materials is justified. Studies have been carried out on the granulometric composition of the powder obtained by electroerosive dispersion from waste high-speed steel. The study was carried out in two stages according to the Fraunhofer method, i.e. by dispersion in a liquid, followed by background measurement and subsequent plasma-powder surfacing. The moment of friction and grip was studied under increasing load on the mating surfaces of steel balls during sliding friction.

The data obtained showed that the use of metal waste as a source of materials for plasma-powder surfacing can solve the problem of resource conservation, environmental protection and the high cost of restoration work on car engines. Phase analysis showed that the microhardness of the coating obtained by electroerosion dispersion increased by 1.4 times, and the strength characteristics of the crankshaft of an automobile engine increased by 2 times.

Keywords: crankshaft, surfacing, engine, process, microhardness, operational properties.

МРНТИ 55.53.03

***А. С. Даньярова, Б. Б. Тогизбаева, Б. Т. Сазамбаева, А. Б. Забиева, И. Б. Кенесбек.**

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

*e-mail: d_b@bk.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ БЫСТРОСЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Экскаваторы – это вид тяжелой автомобильной техники, широко используемой в строительстве и землеройных работах. Они оснащены ковшами, которые используются для копания, подъема и перемещения таких материалов, как почва, камни и мусор. Традиционный метод крепления и отсоединения ковшей к экскаваторам обычно является трудоемким, требует ручного труда двух и более человек, а также точного выравнивания и использования различных инструментов, что приводит к более длительной настройке и простоям по сравнению с современными системами быстрого съема. [1]. Как показала практика, использование быстроразъемного механизма значительно облегчают крепление ковшей к экскаваторам, ускоряя и упрощая замену навесного оборудования. Это устройство значительно сокращает время, необходимое для установки и снятия ковша со стрелы экскаватора, повышая общую эффективность работы.

Целью данного исследования является оценка эффективности различных конструкций механизма быстрого сцепления и расцепления ковшей экскаваторов путем проведения сравнительного анализа. В ходе исследования будут оценены такие факторы, как эффективность, надежность, производительность, и безопасность. Кроме того, в ходе исследования будет оценена простота использования быстроразъемного механизма путем сбора отзывов от операторов экскаваторов, имеющих опыт работы с обоими способами крепления. [2; 7; 8].

Ключевые слова: экскаватор, рукоять, ковш, быстроразъемный механизм, квик-каплер (quick coupler).

Введение

Быстроразъемные соединители упрощают и ускоряют процесс крепления ковшей к экскаваторам, значительно сокращая время, необходимое для установки и демонтажа. Это усовершенствование повышает общую эффективность работы, делая замену навесного оборудования более быстрой и простой. [3]

Таблица 1 – Классификация БСМ.

Быстроразъемные механизмы (соединители)	
по типу конструкций	
универсальные	специальные
- используют сцепляющиеся пальцы, которые вставляются в отверстия (проушины) в верхней части ковша.	- в специальных соединителях не используются соединительные пальцы с проушинами для ковша. Вместо этого они крепятся к специальным пластинам, обычно приваренным к верхней части ковша.
по принципу действия	
механические	гидравлические
- оператору приходится вручную отсоединять навесное оборудование с помощью рычага, который воздействует на пружину или винт (для крупногабаритного оборудования), что вынуждает оператора покинуть кабину машины.	- гидравлические соединители позволяют оператору выполнять все операции по подключению и отключению из кабины экскаватора, устраняя необходимость в ручном вмешательстве.

Материалы и методы

При выборе механического быстроразъемного соединителя потенциальные потребители чаще всего не обращают внимание на конструкцию изделия, полагая что в них нет существенных различий. Однако различия всё же имеются, и они довольно значительные. На сегодняшний день популярными механическими БСМ на рынке являются соединители с винтовым и пружинным принципом работы.

Рассмотрим быстроразъемные соединения с винтовым механизмом. Их работа основана на подвижном винте с захватом на конце и неподвижной гайке, приваренной к корпусу. Вращая винт с помощью специального инструмента, захват перемещается линейно, устанавливая или отсоединяя ковш или навесное оборудование в зависимости от направления вращения.

Ключевым преимуществом винтового быстроразъемного ковшового механизма является его экономичность. Этот тип быстроразъемной системы имеет очень простую конструкцию. Для его изготовления не требуются высокоточные детали; для механической обработки достаточно универсальных токарных и сверлильных станков [4].



Рисунок 1 – Быстроразъемный соединитель механический с винтовым принципом

Установка ковша на винтовой механический БСМ:

После установки ковша оператору необходимо затянуть винтовой механизм вручную, чтобы обеспечить надежную фиксацию. Этот этап занимает несколько минут, в зависимости от размера оборудования и сложности механизма. (5–10 мин, в зависимости от конкретных условий и погоды)

Разборка:

– Оператор с помощью рычага или инструмента откручивает винтовой механизм, что занимает несколько минут (5-10 мин, в зависимости от условий и погоды).

– После откручивания ковш можно легко отсоединить от быстроразъемного соединения, что занимает несколько минут (2-3 мин).

– В итоге: быстроразъемная резьбовая муфта: общее время занимает примерно 15–30 минут на установку и демонтаж, в зависимости от условий рабочей зоны и погодных условий [5, 10].

Наряду с этим имеется ряд недостатков.

Во-первых, заметными недостатками винтового механизма являются относительно большие габариты и вес. Из-за особенностей его работы винтовой механизм не может быть встроен в корпус изделия, что требует дополнительного пространства в нижней части корпуса. Это большое расстояние существенно влияет на кинематику. При эксплуатации экскаватора очевидны повышенные нагрузки на место соединения ковша, быстроразъемного устройства и рукояти, а также снижение усилия погружения (что влияет на эффективность погружения ковша в грунт). Большой вес и увеличенный радиус разгрузки требуют использования более легких ковшей меньшей емкости. Кроме того, использование винтовой быстроразъемной муфты на экскаваторе-погрузчике может усложнить перевод навесного оборудования в транспортное положение по тем же причинам [6].

Во-вторых, существует риск ослабления фиксации из-за износа резьбы винта и гайки с течением времени. Увеличение зазора в резьбовом соединении может привести к разрушению резьбового соединения и всего захвата, что может привести к люфту в крепежном механизме и аварийному отсоединению навесного оборудования или ковша. Это может привести не только к повреждению оборудования, но и к угрозе безопасности находящегося поблизости персонала в случае падения ковша или навесного оборудования [6].

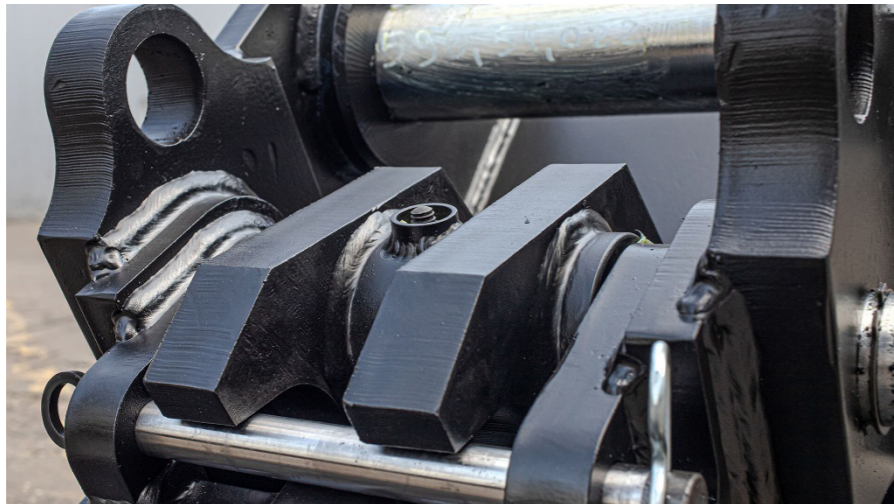


Рисунок 2 – Резьба винтового БСМ

В-третьих, резьба не защищена от влаги и загрязнений, что приводит к коррозии. Со временем это приводит к износу резьбы и заклиниванию механизма. Чтобы предотвратить эти проблемы, необходимо регулярно проверять резьбу, смазывать ее, очищать от грязи и пыли и проверять работоспособность винтового механизма. Благодаря своей конструкции винтовые механические быстроразъемные устройства часто используются на полноповоротных экскаваторах весом от 14 до 35 тонн в качестве экономичной альтернативы гидравлическим быстроразъемным устройствам. Они также используются в мини-экскаваторах, поскольку относительно просты в изготовлении [6].

Далее рассмотрим пружинные быстроразъемные механизмы. В таких соединителях движение захвата осуществляется за счет упругого элемента — цилиндрической пружины. Эта конструкция является более совершенной и одновременно отличается относительно простым и надежным механизмом.

Подпружиненные быстроразъемные соединения имеют более удобную конструкцию, механизм размещен внутри корпуса, что обеспечивает минимальные габариты и вес. Замена оборудования происходит значительно быстрее по сравнению с винтовыми быстроразъемными соединениями, поскольку отсоединение может быть выполнено одним движением с помощью простого рычага.

Что касается эффективности работы в загрязненных условиях, то пружинный механизм работает лучше, чем винтовой. Несмотря на то, что пружина также подвергается воздействию грязи и влаги, она сохраняет свою функциональность даже при сильном загрязнении. Контроль за состоянием пружины проводится реже, а смазка, как правило, не требуется.

Защита от случайного разъединения обеспечивается предохранителем с защитным кольцом. Однако конструкция пружинных быстроразъемных соединений требует более высокой точности при изготовлении сопрягаемых деталей. Металлообрабатывающие комплексы с ЧПУ позволяют достичь необходимого уровня точности проектирования [6].

Что касается недостатков, то пружинные быстроразъемные соединения, изготовленные в кустарных условиях, часто имеют большие зазоры в местах крепления, несмотря на их внешнее сходство с профессионально изготовленными.

Универсальные фрезерные и сверлильные станки не позволяют достичь необходимого уровня точности обработки деталей. В результате не получается прочного соединения, что приводит к повышенному износу как оборудования, так и быстроразъемного соединения, и к преждевременному ремонту.

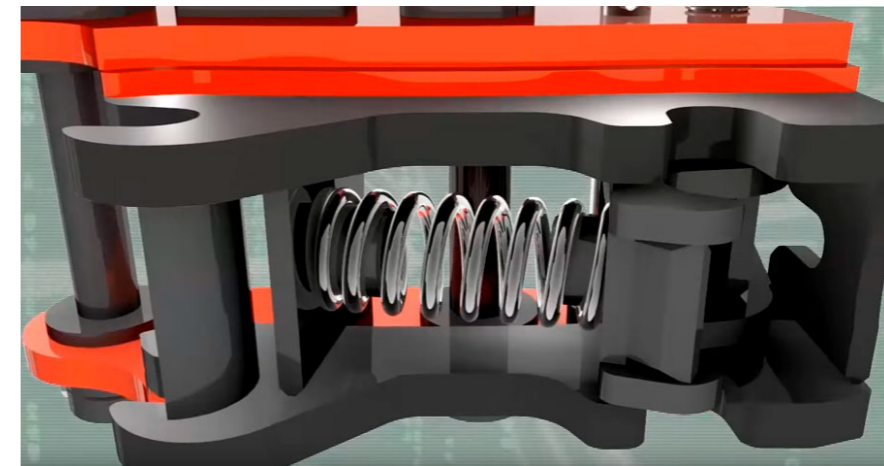


Рисунок 3 – пружинный механический БСМ

Подпружиненные механические быстроразъемные соединения широко используются на экскаваторах-погрузчиках из-за высокой скорости замены оборудования, надежности и компактности. Несмотря на эти преимущества, они не используются на полноповоротных экскаваторах. Требуемое значение упругости пружин для данных БСМ в связи с большими нагрузками на соединительные узлы, потребовали бы очень жесткой пружины, что затрудняет или делает невозможным ручной монтаж и демонтаж навесного оборудования собственными силами оператора.

Гидравлический быстроразъемный соединитель – это механизм, который позволяет быстро и просто менять навесное оборудование на экскаваторах. Для работы используется давление масла из гидравлической системы экскаватора.

На сегодняшний день гидравлические БСМ могут быть вмонтированы на все виды экскаваторов при помощи специальных датчиков давления и дополнительных гидрелиний [7].

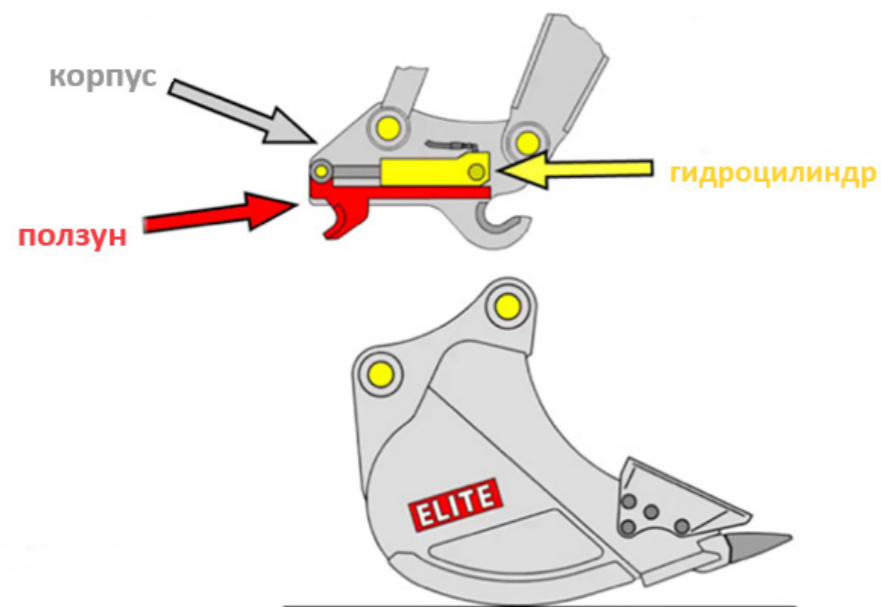


Рисунок 4 – Гидравлический быстроразъемный механизм

Ползун - компонент сцепного устройства, оснащенная запорным крюком которое позволяет присоединять и отсоединять навесное оборудование.

Цилиндр – гидравлический компонент, который использует масло под давлением для создания усилия и создания скользящего движения.

Принципом работы данного гидравлического БСМ является использование гидравлического цилиндра для линейного перемещения ползуна с запорным крюком для быстрого сцепления и расцепления БСМ с навесным оборудованием. Это устраняет необходимость в ручных манипуляциях и позволяет оператору управлять процессом из кабины [7].

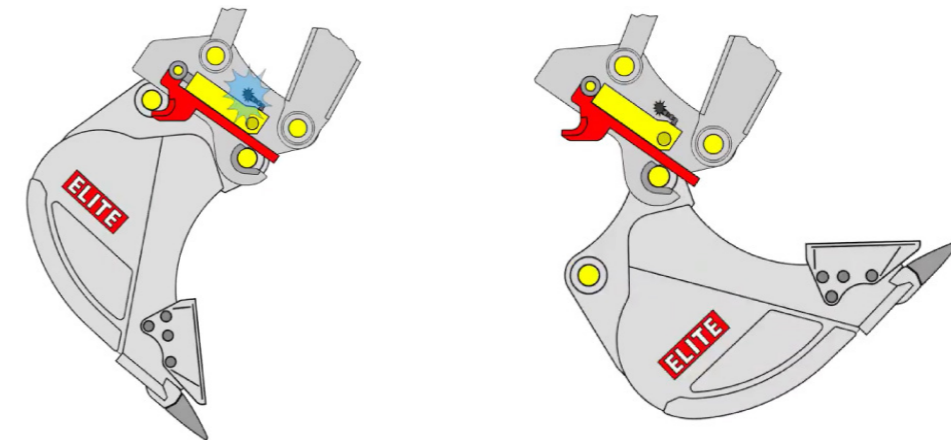


Рис. 5 – опрокидывание ковша при аварийной ситуации (порча гидрелинии)

Необходимость повышенной надежности гидравлической линии: при отсутствии ручных манипуляций система в значительной степени зависит от гидравлической системы экскаватора. Это создает единую точку отказа. При неисправности гидравлики экскаватора быстроразъемное соединительное устройство может не работать, что может привести к задержкам или потребовать использования резервной системы (при наличии) для отсоединения навесного оборудования [7].

Гидравлический БСМ с двухштифтовой блокировкой.

БСМ имеющий специальный механизм блокировки внутри муфты. В нем используются два штифта, которые входят в зацепление с соответствующими прорезями или карманами на креплении, чтобы надежно закрепить его [8].

Два штифта обеспечивают более надежную фиксацию навесного оборудования, снижая риск случайного отсоединения. Это имеет решающее значение для тяжелого навесного оборудования или при работе на склонах или неровных поверхностях, где высока вероятность возникновения несбалансированных усилий. Двойные точки зацепления обеспечивают лучшую общую устойчивость навесного оборудования, сводя к минимуму колебания или перемещения во время работы. Это обеспечивает более точное управление и снижает нагрузку на рычаг экскаватора и само сцепное устройство. Вместе с тем, позволяет операторам работать с более тяжелым навесным оборудованием без ущерба для безопасности.

Существенными недостатками могут быть более сложная конструкция изготовления изделия и множество мелких деталей, что в свою очередь приводит к повышению стоимости и увеличению в потребности технического обслуживания. При наличии большего количества движущихся частей повышается вероятность износа, что может потребовать более частых проверок и, возможно, более сложного ремонта. Со временем износ фиксирующего механизма может привести к небольшому увеличению люфта (неплотности) между соединителем и насадкой, что может повлиять на точность [9].

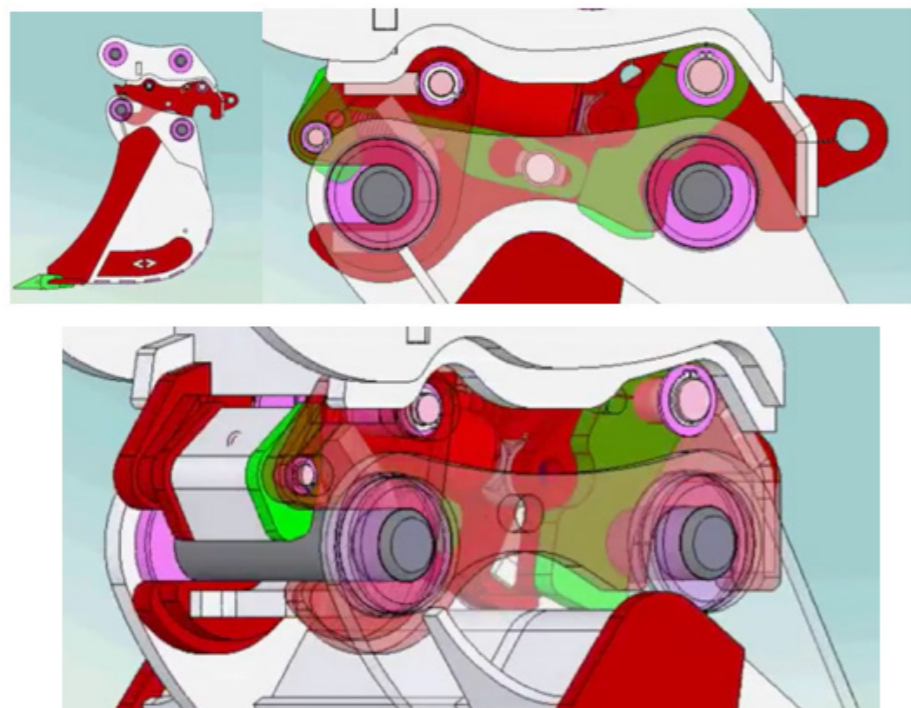


Рисунок 6 – Гидравлический быстросъемный механизм с двухконтактной блокировкой

Результаты и обсуждение

Винтовые механические быстросъемы имеют хорошую цену, но не технологичный конструктив. Для полноповоротных экскаваторов выбираются в качестве недорогой замены гидравлическим быстросъемам. А также для редких моделей мини-экскаваторов и экскаваторов-погрузчиков, когда требуется произвести БСМ в единичном экземпляре из-за относительно простой технологии производства.

Пружинные быстросъемные соединители, напротив, лишены недостатков винтовых механизмов, но только в том случае, если были произведены на предприятии с современным станочным парком, высоким уровнем организации технологического процесса и автоматизации производства, что подразумевает серийный выпуск продукции.

Гидравлический быстросъемный механизм зацепляющийся с помощью скольжения ползуна от гидроцилиндра является быстродействующим и позволяет управлять им из кабины, но более дорогой, сложный и имеет единственную точку отказа (гидравлическая система).

Гидравлическая система с двухконтактной блокировкой обеспечивает превосходную безопасность и устойчивость при выполнении сложных операций экскаватором, особенно при работе с тяжелым навесным оборудованием или на неровном грунте. Однако повышенная сложность приводит к увеличению затрат и необходимости технического обслуживания. Решение об использовании этой

системы зависит от конкретного применения и компромисса между безопасностью, производительностью и стоимостью.

Выводы

В данной статье приведены 4 вида широко распространённых и популярных на сегодняшний день быстросъемных механизмов.

Учитывая вышеперечисленные данные, стоит отметить, что разработка новых, совершенствование и модернизация имеющихся быстросъемных механизмов имеет актуальность по сегодняшний день. Потому как выбор быстроразъемного соединителя зависит от таких факторов, как размер и тип экскаватора, бюджет, желаемая скорость работы и соображения безопасности. При выборе важно учитывать как экономическую эффективность, так и безопасность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Rane, K., Akshay, et al.** «Literature Review on Analysis of Wheel Loader and Its Various Components». Elsevier BV, Vol. 5, № 9, 1 Jan. – 2018. – P. 19049–19055. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.257>.

2 **Jung, Myung-Chul, et al.** «Pushing and pulling carts and two-wheeled hand trucks». Elsevier BV, Vol. 35. – № 1. – 1 Jan. 2017. – P. – 79–89. – <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.08.006>.

3 **Lee, Choong-Ho, et al.** Kinematic control model for light weighting mechanism of excavator attached to rotary working device. 18 Jul. 2017, <https://doi.org/10.1117/12.779854>.

4 Электронный журнал Основные средства, Быстросъём для экскаватора Квик-каплер (quick coupler) для ускоренной смены навесного оборудования, РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОЖНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ОС 03'2017, 13 мар 2017 [Электронный ресурс] <https://os1.ru/article/9917-bystrosemdlya-eksavatora> (дата обращения 31.05.2024).

5 Официальный сайт Группа компаний Традиция, [Электронный ресурс] <https://www.tradicia-k.ru/product/kvik-kapler-mekhanicheskiy-bsm-qc300m/> (дата обращения 30.05.2024).

6 Официальный сайт Технопарк «Импульс» — ведущий производитель навесного оборудования в России и единственный в стране производитель гидромолотов, открытая статья «Как работает пружинный механический квик-каплер Impulse», дата публикации 19-07-2023, [Электронный ресурс] <https://www.impulse.su/novosti/kak-rabotaet-pruzhinnyu-mekhanicheskiy-kvik-kapler-impulse/> (дата обращения 31.05.2024).

7 Группа компаний Традиция, официальный youtube канал, описание и отзыв операторов-экспертов, [Электронный ресурс] <https://www.youtube.com/watch?v=da9m11AjzSQ> (дата обращения 30.05.2024).

8 Elite Attachments Australia Pty Ltd официальный youtube канал, описание и отзыв операторов-экспертов, [Электронный ресурс] https://www.youtube.com/watch?v=bEm6_J07dbQ (дата обращения 30.05.2024).

9 Werk-Brau D-Lock Variable Center multi-pin grab hydraulic excavator coupler overview официальный youtube канал, описание и отзыв операторов-экспертов, [Электронный ресурс] <https://www.youtube.com/watch?v=njMeMCXcEc4> (дата обращения 31.05.2024).

10 **Sebastian Schmid**. Patent - 2020 US20200149243 - QUICK-CHANGE COUPLER DEVICE AND QUICK-CHANGE COUPLER SYSTEM COMPRISING SAID QUICK-CHANGE COUPLER DEVICE, OilQuick Deutschland GmbH, № 16682587, Application 13.11.2019; Published 14.05.2020.

Поступило в редакцию 01.03.2024.

Поступило с исправлениями 04.06.2024.

Принято в печать 08.06.2024.

REFERENCES

1 **Rane, K., Akshay, et al.** «Literature Review on Analysis of Wheel Loader and Its Various Components». Elsevier BV. – Vol. 5, № 9, 1 Jan. 2018. – P. 19049-19055. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.257>.

2 **Jung, Myung-Chul, et al.** «Pushing and pulling carts and two-wheeled hand trucks» Elsevier BV. – Vol. 35, № 1, 1 Jan. – 2017, P. 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.08.006>.

3 **Lee, Choong-Ho, et al.** Kinematic control model for light weighting mechanism of excavator attached to rotary working device. 18 Jul. 2017, <https://doi.org/10.1117/12.779854>.

4 Electronic journal Fixed assets, Quick coupler for the quick coupler excavator for accelerated change of attachments, WORKING EQUIPMENT, ROAD CONSTRUCTION, 03'2017, 13 мар 2017 [Electronic resource] <https://os1.ru/article/9917-bystrosem-dlya-eksavatora> (accessed 31.05.2024).

5 The official website of the Tradition Group of Companies, [Electronic resource] <https://www.tradicia-k.ru/product/kvik-kapler-mekhanicheskij-bsm-qc300m/> (accessed 30.05.2024).

6 The official website of Technopark Impulse is a leading manufacturer of attachments in Russia and the only manufacturer of hydraulic hammers in the country, an open article “How the Impulse spring mechanical quick—coupler works”, published 19-07-2023, [Electronic resource] <https://www.impulse.su/novosti/kak-rabotaet-pruzhinnyu-mekhanicheskij-kvik-kapler-impulse/> (accessed 31.05.2024).

7 Tradition Group of Companies, official youtube channel, description and feedback from expert operators, [Electronic resource] <https://www.youtube.com/watch?v=da9m1IAjzSQ> (accessed 30.05.2024).

8 Elite Attachments Australia Pty Ltd официальный youtube канал, описание и отзыв операторов-экспертов, [Electronic resource] https://www.youtube.com/watch?v=bEm6_J07dbQ (accessed 30.05.2024).

9 Werk-Brau D-Lock Variable Center multi-pin grab hydraulic excavator coupler overview official YouTube channel, description and feedback from expert operators,

[Electronic resource] <https://www.youtube.com/watch?v=njMeMCXcEc4> (accessed 31.05.2024).

10 Sebastian SCHMID, Patent - 2020 US20200149243 - QUICK-CHANGE COUPLER DEVICE AND QUICK-CHANGE COUPLER SYSTEM COMPRISING SAID QUICK-CHANGE COUPLER DEVICE, OilQuick Deutschland GmbH, № 16682587, Application 13.11.2019; Published 14.05.2020.

**А. С. Даниярова, Б. Б. Тогизбаева, Б. Т. Сазамбаева, А. Б. Забиева, И. Б. Кенесбек.*

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

1.03.2024 ж. баспаға түсті.

04.06.2024 ж. түзетулерімен түсті.

08.06.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЭКСКАВАТОР ШӨМІШІНЕ АРНАЛҒАН ЖЫЛДАМ БОСАТУ МЕХАНИЗМІ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУ

Экскаваторлар – құрылыс және жер қазу жұмыстарында кеңінен қолданылатын ауыр автомобиль техникасының бір түрі. Олар топырақ, тастар және қоқыс сияқты материалдарды қазу, көтеру және жылжыту үшін қолданылатын шөміштермен жабдықталған. Оларды экскаваторларға бекітудің және ажыратудың дәстүрлі әдісі әдетте көп уақытты қажет етеді. Ол үшін екі немесе одан да көп адамның қол еңбегін, сондай-ақ әртүрлі құралдарды дәл туралауды және пайдалануды талап етеді, бұл заманауи жылдам алып тастау жүйелерімен салыстырғанда орнатылуы ұзақ созылу салдарынан экскаватордың тоқтап қалуына әкеледі [1]. Тәжірибелер арқасында, жылдам босату механизмін пайдалану шөміштерді экскаваторларға бекітуді жеңілдетеді, қондырмаларды ауыстыруды тездетеді. Бұл құрылғы шөмішті экскаватордың жебесінен орнатуға және алып тастауға кететін уақытты едәуір қысқартады, сондай-ақ жалпы жұмыс тиімділігін арттырады.

Бұл зерттеудің мақсаты салыстырмалы талдау жүргізу арқылы экскаватор шөміштерінің жылдам ілінісу және ажырату механизмінің әртүрлі конструкцияларының тиімділігін бағалау болып табылады. Зерттеуде тиімділік, сенімділік, өнімділік, және қауіпсіздік факторлары бағаланып, тәжірибелері мол экскаватор операторларынан кері байланыс жинау арқылы жылдам босату механизмін пайдаланудың қарапайымдылығы сыналады. [2,7,8].

Кілтті сөздер: экскаватор, сабы, шөміш, жылдам босату механизмі, квик-каплер (quick coupler).

*A. S. Danyarova, B. B. Togizbayeva, B. T. Sazambayeva,
A. B. Zabiyeva, I. B. Kenesbek.

L. N. Gumilyov Eurasian national university, Republic of Kazakhstan, Astana

Received 01.03.2024.

Received in revised form 04.06.2024.

Accepted for publication 08.06.2024.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF QUICK-RELEASE MECHANISM DESIGNS FOR EXCAVATOR BUCKETS: COMPARATIVE RESEARCH

Excavators, powerful machines used extensively in construction and earthmoving, utilize buckets for digging, lifting, and material movement (soil, rocks, debris). Traditionally, attaching and detaching buckets involved manual labor (often two or more people), precise alignment, and various tools. This resulted in longer setup times and downtime compared to modern quick-release systems.

Quick-release mechanisms, as their name suggests, significantly simplify and expedite excavator attachment changes. These devices considerably reduce bucket installation and removal times from the excavator boom, leading to increased overall work efficiency.

This study aims to evaluate the effectiveness of various excavator quick coupler designs through a comparative analysis. Factors like efficiency, reliability, performance, and safety will be assessed. Additionally, the study will investigate user-friendliness by collecting feedback from excavator operators experienced with both mounting methods.

Keywords: excavator, bucket, arm, quick-release mechanism, quick coupler.

СТРОИТЕЛЬСТВО

МРНТИ 67.09.55

*A. Z. Sharapiden¹, A. H. Alimova¹, A. I. Meneylyuk²,
R. A. Tyulubaev¹, I. K. Kozhan¹

¹Toraighyrov university, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Odessa State Academy of Construction and Architecture, Ukraine, Odessa

*e-mail: kik_indira@bk.ru

USING EPOXY RESIN COATING TO IMPROVE THE PROPERTIES OF TEXTILES

This article presents the results of an experimental campaign that examined the effect of epoxy resin application on bare carbon textiles. To this end, the experimental campaign was undertaken involving a total of 6 specimens (3 bare textile and 3 coated). The main idea of the research is to examine the effectiveness of epoxy resin application on carbon textiles.

The main outcome could be determined as follows: a noticeable reduction in maximum applied load observed by 60% and an increase in modulus of elasticity by 23%, which indicates a significant increase in reliability and robustness. However, the use of epoxy resin is associated with disadvantages, in particular with reduced flexibility, which limits its suitability for curved surfaces.

The analysis of the nature of the fracture reveals the rupture of the material as the predominant result, confirming the successful impregnation of the epoxy resin to the textile. These results highlight the potential benefits of epoxy-coated textiles and the importance of considering specific application requirements in practical use.

Keywords: textile materials, epoxy resin coating, strengthening, carbon textile, tensile test.

Introduction

Improving the performance of materials is a common challenge in contemporary engineering practices. Various methods have been employed to enhance the key features of materials, and one such technique involves the application of epoxy resin to the bare materials. The recent work by [1] demonstrates the positive impact of epoxy resin application on textile materials. Earlier research performed by [2] also highlights the favorable outcomes of epoxy resin coating. The coating of the textile potentially could improve the feature of the virgin material by covering and protecting textile yarns. In accordance with ACI 549.4 R-13, fabric coating is defined as a polymer application intended for either covering or bonding yarns without complete penetration and impregnation of fibers, as observed in Fiber Reinforced Polymer (FRP) materials [3]. Several research have demonstrated that epoxy impregnation of fabric represent improvements in mechanical bond strength, frictional bond strength, and stiffness [4,5,6]. Following epoxy impregnation, the textile personifies as a rigid thin fabric,

effectively mitigating slippage among filaments. In cases where a coating is applied, filaments experience more uniform stress distribution, leading to increased participation of filaments in load-bearing functions [7,8]. This observation contributes valuable insights into the structural enhancements achieved through epoxy impregnation and coating on fabric materials [9,10].

The papers main purpose is to investigate the possibility of using the epoxy resin application on bare textiles. For this reason, the tensile coupon test was performed to investigate the main outcomes of such an application.

Methods and materials

In this project, one commercially available textile-fibre materials were used, i.e., carbon-fibre textile (either uncoated or coated with epoxy resin. The property of the textile material, as provided in the manufacturer datasheet, are presented in Table 1

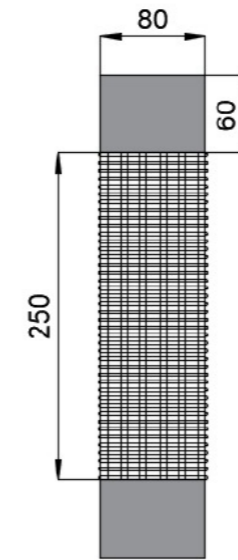
Table 1 – Textile material property

Material	W [g/m ²]	t [mm]	f [MPa]	E [GPa]	K [N/mm ²]
Carbon	220	0.035	4800	225	13.95

In order to investigate the outcome of epoxy resin application the textile material was coated in a laboratory the process of coating can be described as follow:

- The textile was cut in strips with nominal dimensions width -80 mm and L -350 mm;
- The bare textile was placed into flat surface an fixed with tape to prevent movement;
- The epoxy resin was placed with foam nozzle;
- Aluminum plate with dimension of 80x60 mm. was attached to the both side of the specimens to improve gripping in the testing machine;
- The specimens were left for at least two days for before been tested.

The tensile tests were conducted in displacement control with constant speed of 0.02 mm/sec in WOW-200 Universal testing machine fitted with 200 kN load cell. It should be noted the displacement was measured within built in testing machine measured apparatuses, not additional apparatuses for measured elongation were used.



a)



b)

Figure 1 – Test setup: (a) - geometry of textile coupon (all dimensions in mm); (b) - actual test setup

The naming of the samples is C- for carbon and suffix “co” added to represent coating of the specimens.

*Standard deviation, **Coefficient of variation

Results

The result of the tensile test represented in the Figure 2 The failure of the textile was textile rupture. The stress strain plot is shown on the Figure 3 and Table 2. represent the maximum stress and modulus of elasticity. As expected, the trend in all cases was linear up to failure.

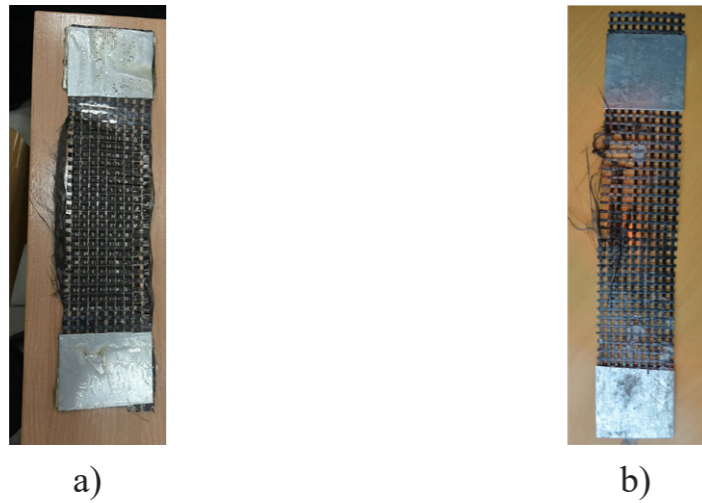


Figure 2 – Textile tensile tests failure modes: (a) – uncoated (b) – coated.

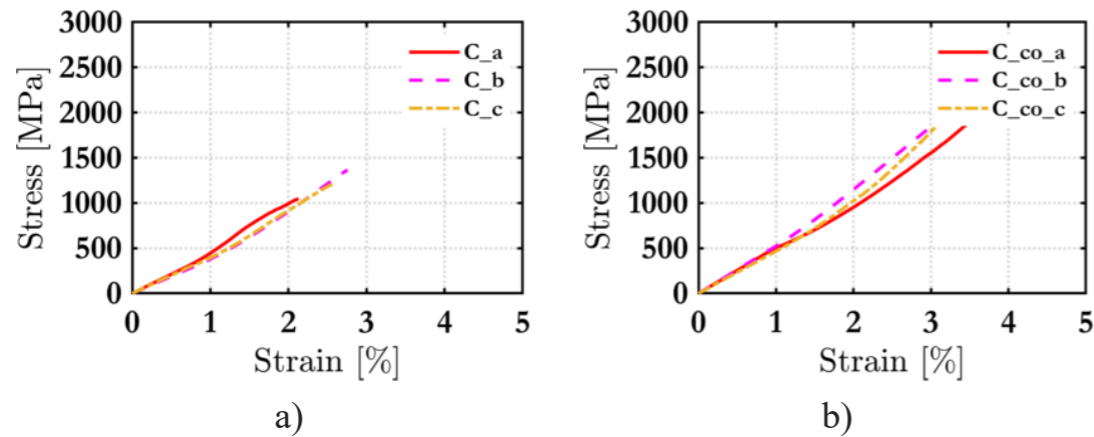


Figure 3 – Stress strain plot of coupon test

The figure Figure 4 shows the direct comparison between stress strain plots of coated and uncoated textile coupons. The results show the positive outcomes of coating with epoxy resin.

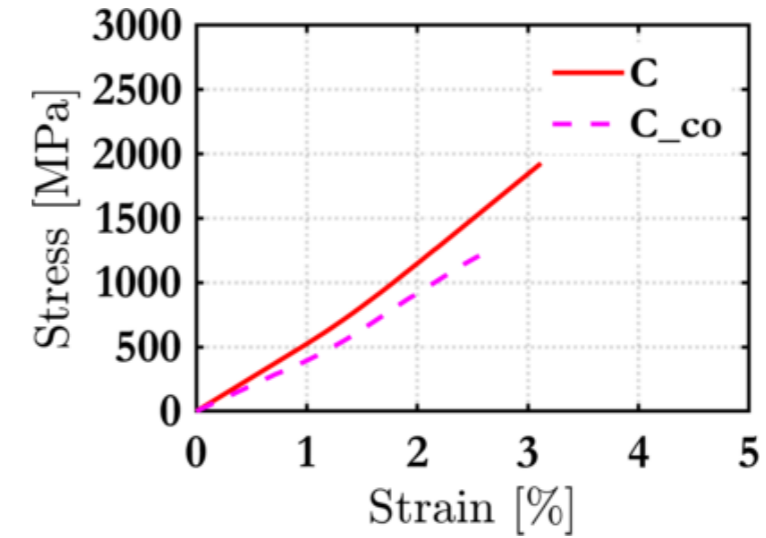


Figure 4 – Compare coated and uncoated textile.

Table 2 – Tensile test results

Textile	Stress [MPa]	Modulus of elasticity [GPa]
C	1207 (159) *(13) **	134 (6) * (4.4) **
C_co	1939 (52) *(2.71) **	165(3) *(1.8) **

Discussion

Strengthening the textile with epoxy resin improves the stress by 60 per cent and the modulus of elasticity by 23 % increase indicates a substantial reinforcement of the textile material, making it more robust and resilient under various conditions.

However, the application of epoxy resin has several disadvantages. One significant drawback is the reduced flexibility of the textile. The enhanced strength come at the cost of flexibility, limiting the application of the textile to flat surfaces. This limitation can impact the versatility of the material, making it less suitable for applications to curved or irregular surfaces.

The test results affirm the postponement of failure risks through epoxy resin reinforcement. These outcomes underscore the potential benefits of epoxy resin-coated textiles while emphasizing the importance of considering specific application requirements in practical use.

In practical terms, the choice to use epoxy resin-coated textiles should be made based on the specific requirements of the intended application. Such as the shape of the applied surface.

Conclusion

This paper represent result obtained from the experimental campaign investigated the possible coating application on the bare textile. The key observation can be described as follow:

The beneficial effect of the coating comprises the improving the maximum stress by 60 percent.

The modulus of elasticity grooving by 23 percent which is indicating that the material is becoming stiffer and less prone to deformation when subjected to external forces.

The test results affirm the postponement of failure risks through epoxy resin reinforcement. These outcomes underscore the potential benefits of epoxy resin-coated textiles while emphasizing the importance of considering specific application requirements in practical use.

REFERENCES

1 **Donnini, J., Corinaldesi, V. and Nanni, A.** Mechanical properties of FRCC using carbon fabrics with different coating treatments [Text] // Composites Part B : Engineering. – 2016. – № 88. – P. 220–228.

2 **Kariou, F. A., Triantafyllou, S. P. and Bournas, D. A.** TRM strengthening of masonry arches : An experimental investigation on the effect of strengthening layout and textile fibre material [Text] // Composites Part B : Engineering. – 2019. – № 173. – P. 106765.

3 ACI 549.4R-13. Guide to design and construction of externally bonded fabric-reinforced cementitious matrix (FRCC) systems for repair and strengthening concrete and masonry structures. [Text] – Farmington Hills, MI : American Concrete Institute; 2013. – 143 p.

4 **Xu, S., Krüger, M., Reinhardt, HW, Ozbolt, J.** Bond characteristics of carbon, alkali resistant glass, and aramid textiles in mortar [Text] // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2004. – № 16. – P. 356–364.

5 **Yin, S., Xu, S., Li, H.** Improved mechanical properties of textile reinforced concrete thin plate [Text] // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. – 2013. – № 28. – P. 92–98.

6 **Makashev, K., Triantafyllou, S. P., Thermou, G. E., Tizani, W.** Bond behaviour of light and heavy carbon fibre TRM to masonry interfaces [Text] // Construction and Building Materials. – 2023. – 400. – P. 132508.

7 **Silva, FA, Butler, M., Hempel, S., Filho, RDT, Mechtcherine, V.** Effects of Elevated Temperatures on the Interface Properties of Carbon Textile-Reinforced Concrete [Text] // Cement and Concrete Composites. – 2014. – № 48. – P. 26–34.

8 **Kockritz U, Offermann P, Jesse F, Curbach M.** Influence of textile manufacturing technology on load bearing behavior of textile reinforced concrete. In : Proceedings of the 13th international techtextil-symposium.

9 **Donnini, J., Corinaldesi, V., Nanni, A.** FRCC Mechanical Properties Using Carbon Fabrics With Different Coating Treatments [Text] // Symposium Paper. – 2015. – № 305. – P. 8.1–8.12.

10 **Rodríguez-Marcos, M., Villanueva-Llaurado, P., Fernandez-Gomez, J., Lopez-Rebollo, J.** Improvement of tensile properties of carbon fibre-reinforced

cementitious matrix composites with coated textile and enhanced mortars [Text] // Construction and Building Materials. – 2023. – № 369. – P. 130552.

Received 07.02.2024.

Received in revised form 17.02.2024.

Accepted for publication 29.03.2024.

**А. Ж. Шараниден¹, А. Х. Алимова¹, А. И. Менейлюк²,
Р. А. Тюлюбаев¹, И. Қ. Қожан¹*

¹Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Одесса мемлекеттік Құрылыс және Сәулет академиясы, Украина, Одесса қ.
07.02.2024 ж. баспаға түсті.

17.02.2024 ж. түзетулерімен түсті.

29.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТОҚЫМА ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСARTУ ҮШІН ЭПОКСИДТІ ЖАБЫНДЫ ҚОЛДАНУ

Бұл мақалада эпоксидті жағудың таза көміртекті тоқыма бұйымдарына әсерін зерттеген эксперименттік науқанның нәтижелері келтірілген. Осы мақсатта эксперименттік науқан жүргізілді, оған барлығы 6 үлгі қатысты (3 таза тоқыма және 3 қапталған). Зерттеудің негізгі идеясы эпоксидті көміртекті тоқыма бұйымдарына жағудың тиімділігін зерттеу болып табылады.

Негізгі нәтижені келесідей анықтауға болады: қолданылатын максималды жүктеменің 60% - га айтарлықтай төмендеуі және серпімділік Модүлінің 23% - га артуы байқалды, бұл сенімділіктің айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді. Алайда, эпоксидті қолдану кемшіліктермен, атап айтқанда икемділіктің төмендеуімен байланысты, бұл оның қисық беттерге жарамдылығын шектейді.

Сыну сипатын талдау материалдың жыртылуы тоқыма бұйымдарын эпоксидті шайырмен сәтті сіңдіруді растайтын басым нәтиже екенін көрсетеді. Бұл нәтижелер эпоксидті қапталған тоқыма бұйымдарының әлеуетті артықшылықтарын және практикалық қолдануда нақты қолдану талаптарын ескерудің маңыздылығын көрсетеді.

Кілтті сөздер: тоқыма материалдары, эпоксидті жабын, қатайту, көміртекті тоқыма, созылу сынағы.

*А. Ж. Шарапиден¹, А. Х. Алимова¹, А. И. Менейлюк²,
Р. А. Тюлюбаев¹, И. Қ. Қождан¹

¹Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

²Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
Украина, г. Одесса.

Поступило в редакцию 07.02.2024.

Поступило с исправлениями 17.02.2024.

Принято в печать 29.03.2024.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЯ

В этой статье представлены результаты экспериментальной кампании, в ходе которой изучалось влияние нанесения эпоксидной смолы на текстиль из чистого углерода. С этой целью была проведена экспериментальная кампания, в которой было задействовано в общей сложности 6 образцов (3 из чистого текстиля и 3 с покрытием). Основная идея исследования заключается в изучении эффективности нанесения эпоксидной смолы на углеродный текстиль.

Основной результат можно было бы определить следующим образом: наблюдалось заметное снижение максимальной приложенной нагрузки на 60 % и увеличение модуля упругости на 23 %, что свидетельствует о значительном повышении надежности. Однако использование эпоксидной смолы связано с недостатками, в частности со сниженной гибкостью, что ограничивает ее пригодность для криволинейных поверхностей.

Анализ характера разрушения показывает, что разрыв материала является преобладающим результатом, подтверждающим успешную пропитку текстиля эпоксидной смолой. Эти результаты подчеркивают потенциальные преимущества текстиля с эпоксидным покрытием и важность учета конкретных требований к применению при практическом использовании.

Ключевые слова: текстильные материалы, покрытие эпоксидной смолой, упрочнение, углеродный текстиль, испытание на растяжение.

ХИМИЧЕСКАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

МРНТИ 44.01.75

*А. С. Абжанова, Е. С. Котюев

Карагандинский технический университет имени А. Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда

*e-mail: abzhanova01@inbox.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ НА СКЛАДАХ ГСМ: РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ

Пожары на объектах хранения горюче-смазочных материалов (ГСМ) представляют серьезную угрозу безопасности и окружающей среды из-за высокой степени легковоспламеняемости этих материалов, что подчеркивает важность контроля за их возможным возникновением.

Исследование сфокусировано на анализе факторов, способствующих возникновению пожаров на складе ГСМ разреза «Восточный» в Экибастузе. С использованием программного пакета «STATISTICA» проведен сравнительный анализ двух групп потенциальных причин пожаров. Первая группа включает метеорологические условия, вторая - аварийные ситуации, такие как разряд статического электричества, утечка дизельного топлива, механические повреждения и разряд молнии. Дополнительно проведен сравнительный анализ, включающий множественную корреляцию, проверку на уровень значимости, анализ гистограммы остатков, проверку на нормальность распределения остатков, а также построение графиков предсказанных значений и остатков.

Результатом анализа является регрессионное уравнение, которое позволяет оценить взаимосвязь между факторами и количеством пожаров. Отмечено, что разряд статического электричества, утечка дизельного топлива, механические повреждения и разряд молнии оказывают наибольшее влияние на возможность возникновения пожара. Эти факторы следует учитывать при разработке мер по предотвращению пожаров на складе ГСМ. Регрессионное уравнение позволит прогнозировать вероятность возникновения пожаров на основе значений независимых переменных, что обеспечит более эффективное планирование и управление рисками пожаров.

Ключевые слова: горюче-смазочные материалы, прогнозирование, регрессионный анализ, метеорологические условия, управление рисками, безопасность объекта, возникновение пожаров.

Введение

Склады горюче-смазочных материалов (ГСМ) представляют собой критически важные объекты инфраструктуры, играющие ключевую роль в снабжении и обеспечении топливом техники и оборудования для эффективной работы различных отраслей [1].

Высокая степень легковоспламеняемости горюче-смазочных материалов делает склады ГСМ объектами повышенного риска возгорания, что создает серьезные угрозы для безопасности и окружающей среды. Эта проблема требует системного анализа и выявления факторов, способствующих возникновению пожаров на подобных объектах [2]. Важно понимать, что именно приводит к пожарам и какие меры могут быть предприняты для их предотвращения.

Материалы и методы

Автоматическая система охранно-пожарной сигнализации на складе ГСМ разреза «Восточный» в городе Экибастуз предназначена для обнаружения очага возгорания или несанкционированного проникновения на защищаемый объект и оповещения о пожаре или тревоге проникновения путем выдачи сообщения через общую сеть Ethernet на АРМ дежурному и включением тревожного оповещения [3].

Работа системы основана на постоянном контроле С2000-КДЛ адресных устройств, включенных в один кольцевой адресный шлейф. Любое изменение заданных параметров адресного устройства, вызванное механическим повреждением или срабатыванием установленных в него извещателей, превышающее заданные пределы, приводит к переходу приборов из дежурного режима в режим тревоги с точным указанием места неисправности [4].

Несмотря на имеющиеся преимущества использования автоматизированной системы управления пожаротушением существуют факторы, влияющие на возникновение пожаров на складах ГСМ. При анализе факторов, способствующих возникновению пожаров на объектах хранения горюче-смазочных материалов, можно выделить две основные группы: метеорологические условия и аварийные ситуации.

С помощью ППП «STATISTICA» проведен регрессионный анализ данных групп факторов. Данный анализ помог выявить взаимосвязи и зависимости между различными переменными, а также определить их влияние на вероятность возникновения пожаров на объектах хранения горюче-смазочных материалов [5].

Для проведения регрессионного анализа выбраны параметры для факторов и для отклика. Откликом является количество пожаров. В качестве факторов выбраны такие параметры как: температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление, скорость ветра и атмосферные осадки, разряд статического электричества, утечка дизельного топлива, механические повреждения, разряд молнии, короткое замыкание.

В общем виде уравнение регрессии имеет вид (1):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5, \tag{1}$$

где y – количество пожаров;

b₀ – свободный член уравнения регрессии;

x_n – фактор влияния;

b_n – коэффициент при факторе влияния.

После выбора требуемых факторов и отклика проведен поиск мультиколлинеарных факторов [6].

В таблице 1 представлена корреляционная матрица.

Таблица 1 – Корреляционная матрица факторов и отклика

Переменная	Температура воздуха, °С	Отн. влажность, %	Атм. давление, гПа	Скорость ветра, м/с	Атм. осадки, мм	Количество пожаров
Температура воздуха, °С	1,000000	-0,606342	-0,957149	-0,563817	0,823593	-0,118880
Отн. влажность, %	-0,606342	1,000000	0,434964	0,397127	-0,287090	0,031756
Атм. давление, гПа	-0,957149	0,434964	1,000000	0,492965	-0,811204	0,110303
Скорость ветра, м/с	-0,563817	0,397127	0,492965	1,000000	-0,444550	-0,324368
Атм. осадки, мм	0,823593	-0,287090	-0,811204	-0,444550	1,000000	-0,241353
Количество пожаров	-0,118880	0,031756	0,110303	-0,324368	-0,241353	1,000000

По данным таблицы 1 можно судить о наличии мультиколлинеарных факторов, таких как, «Температура воздуха, °С», «Атмосферное давление, гПа», «Атмосферные осадки, мм». Эти факторы необходимо постепенно исключать, так как между ними существует достаточно сильная корреляционная связь. В таблице 2 представлена итоговая корреляционная матрица.

Таблица 2 – Корреляционная матрица факторов и отклика

Переменная	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Количество пожаров
Температура воздуха, °С	1,000000	-0,606342	-0,563817	-0,118880
Относительная влажность, %	-0,606342	1,000000	0,397127	0,031756
Скорость ветра, м/с	-0,563817	0,397127	1,000000	-0,324368
Количество пожаров	-0,118880	0,031756	-0,324368	1,000000

По данным таблицы 2 видно, что мультиколлинеарные факторы отсутствуют.

Следующим шагом построена таблица 3, отражающая итоги регрессии для зависимой переменной с указанием уровней значимости. Уровнем значимости р-значение называют вероятность, при которой событие (в данной определенной задаче) практически невозможно, т.е. это вероятность того, что исследуемое событие при данных условиях не произойдет.

Таблица 3 – Уровни значимости факторов

Фактор	β	B	Уровень значимости р-значение
Свободный член		8,42372	0,000355
Температура воздуха, °С	-0,450092	-0,07304	0,000498
Относительная влажность, %	-0,013724	-0,00373	0,903052
Скорость ветра, м/с	-0,572687	-2,08017	0,000001

По значениям данной таблицы видно, что уровень значимости некоторых исследуемых факторов меньше 0,05. Для фактора «Относительная влажность, %» значение составило 0,903052. Это говорит о том, что данный фактор необходимо исключить из дальнейшего анализа. Итоговые значения уровней значимости факторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Уровни значимости факторов

Фактор	β	B	Уровень значимости р-значение
Свободный член		8,19533	0,000000
Температура воздуха, °C	-0,442397	-0,07179	0,000079
Скорость ветра, м/с	-0,573799	-2,08421	0,000001

Был проведен анализ качества модели, а именно анализ остатков. Остатки представляют собой разность между фактическими значениями отклика и предсказанными значениями по уравнению регрессии [7].

Исходя из предположений линейной регрессии, должны выполняться следующие условия: остатки нормально распределены и не зависят от значений отклика, предсказанных по уравнению регрессии. Построена гистограмма распределения остатков (см. рис. 1) и нормально вероятностный график остатков (см. рис. 2).

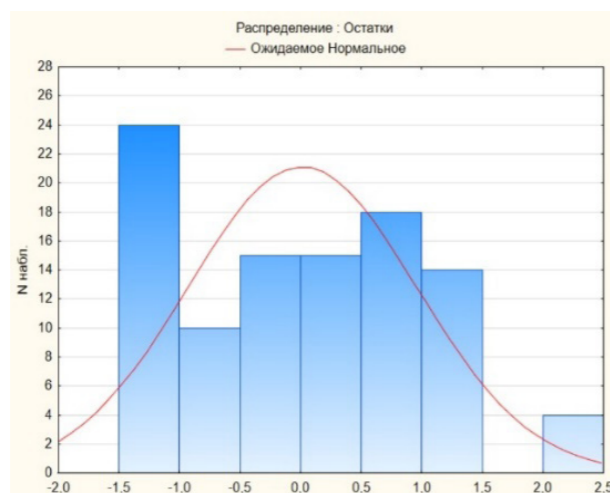


Рисунок 1 – Гистограмма распределения остатков

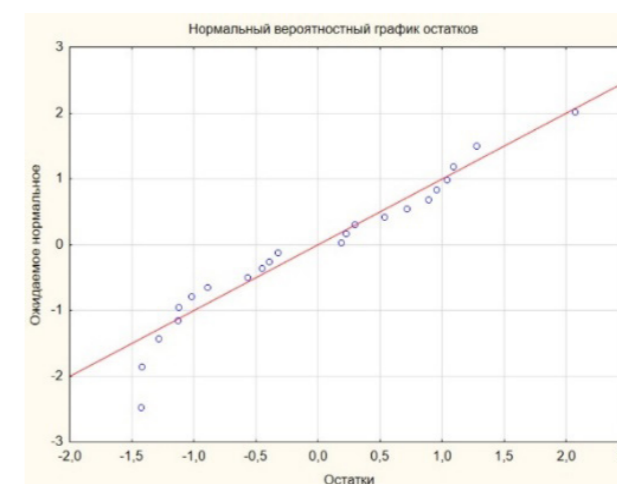


Рисунок 2 – Нормальный вероятностный график остатков

Частотная гистограмма не имеет симметрии. Фактические значения остатков не систематически отклоняются от теоретической нормальной прямой.

Для определения независимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика построен график предсказанных значений и остатков на рисунке 3.

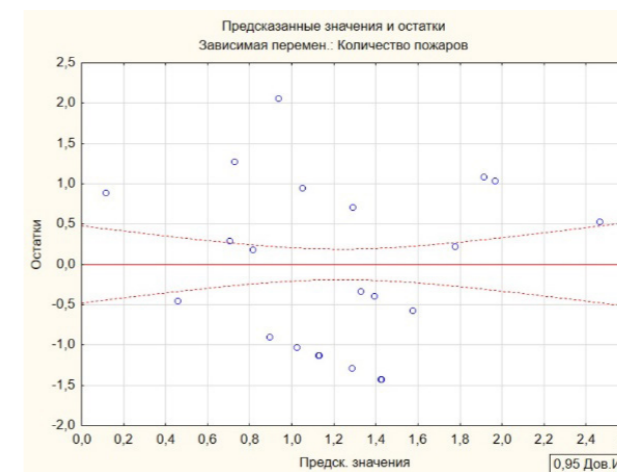


Рисунок 3 – Предсказанные значения и остатки

На диаграмме рассеяния наблюдается отсутствие определенной систематичности в расположении точек, что говорит об отсутствии зависимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика [8].

Следующим этапом необходимо провести анализ второй группы факторов - аварийные ситуации. В таблице 5 представлена корреляционная матрица.

Таблица 5 – Корреляционная матрица факторов и отклика

Переменная	Разряд статического электричества	Утечка дизельного топлива	Механические повреждения	Разряд молнии	Короткое замыкание	Количество пожаров
Разряд статического электричества	1,000000	-0,064590	-0,177448	-0,122833	-0,103669	0,096549
Утечка дизельного топлива	-0,064590	1,000000	-0,138364	-0,132545	0,216658	0,224499
Механические повреждения	-0,177448	-0,138364	1,000000	-0,023448	-0,050212	0,273334
Разряд молнии	-0,122833	-0,132545	-0,023448	1,000000	-0,088605	0,396003
Короткое замыкание	-0,103669	0,216658	-0,050212	-0,088605	1,000000	0,102687
Количество пожаров	0,096549	0,224499	0,273334	0,396003	0,102687	1,000000

Мультиколлинеарные факторы отсутствуют.

Следующим шагом построена таблица 6, отражающая итоги регрессии для зависимой переменной с указанием уровней значимости.

Таблица 6 – Уровни значимости факторов

Фактор	β	B	Уровень значимости р-значение
Свободный член		0,306599	0,059895
Разряд статического электричества	0,258869	0,536242	0,002160
Утечка дизельного топлива	0,333348	0,808388	0,000112
Механические повреждения	0,382951	0,374514	0,000009
Разряд молнии	0,491604	0,788592	0,000000
Короткое замыкание	0,120089	0,276991	0,144964

Уровень значимости некоторых исследуемых факторов меньше 0,05. Фактор «Короткое замыкание, %» необходимо исключить из анализа.

Итоговые значения уровней значимости факторов приведены в таблице 7 [9].

Таблица 7 – Уровни значимости факторов

Фактор	β	B	Уровень значимости р-значение
Свободный член		0,365557	0,021892
Разряд статического электричества	0,245827	0,509226	0,003500
Утечка дизельного топлива	0,356551	0,864658	0,000032
Механические повреждения	0,377599	0,369280	0,000013
Разряд молнии	0,482312	0,773686	0,000000

Построенные гистограмма распределения остатков и нормально вероятностный график остатков изображены на рисунках 4 и 5.

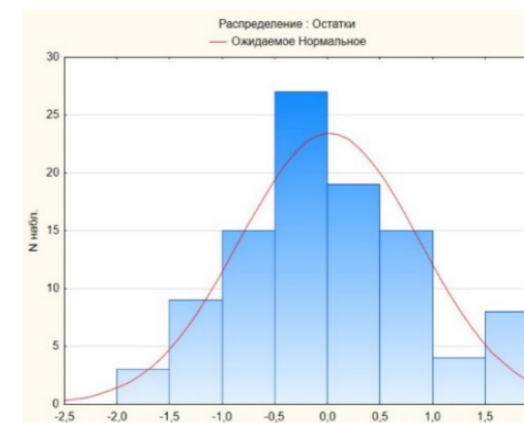


Рисунок 4 – Гистограмма распределения остатков

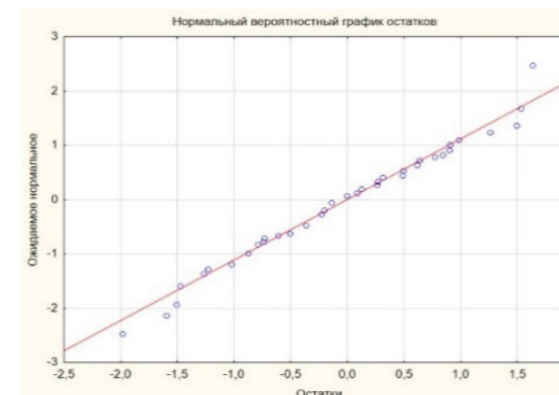


Рисунок 5 – Нормальный вероятностный график остатков

Частотная гистограмма имеет симметрию. Фактические значения остатков не систематически отклоняются от теоретической нормальной прямой.

График предсказанных значений и остатков представлен на рисунке 6.

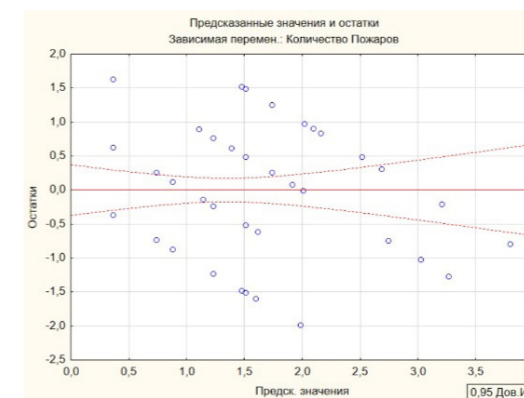


Рисунок 6 – Предсказанные значения и остатки

На диаграмме рассеяния видно, что отсутствует определенная систематичность в расположении точек, что говорит об отсутствии зависимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика.

Результаты и обсуждение

Согласно проведенному анализу первой группы факторов, коэффициент детерминации равен 0,23, стандартная ошибка оценки – 0,96. Адекватность модели не подтверждается [10].

По анализу второй группы факторов – коэффициент детерминации равен 0,88, стандартная ошибка оценки – 0,3, что говорит об адекватности модели.

На основании общего уравнения регрессии и коэффициентов В, показанных в таблице 7, построено уравнение регрессии (2) для прогнозирования возникновения пожаров:

$$y = 0,365557 + 0,509226x_1 + 0,864658x_2 + 0,369280x_3 + 0,773686x_4, \quad (2)$$

где y – количество пожаров;

b_0 – свободный член уравнения регрессии;

x_1 – разряд статического электричества;

x_2 – утечка дизельного топлива;

x_3 – механические повреждения;

x_4 – разряд молнии.

Полученное уравнение регрессии может быть интерпретировано следующим образом: при увеличении аварийной ситуации, вызванной разрядом статического электричества возможность возникновения количества пожаров увеличивается на 0,509226, при увеличении аварийной ситуации, вызванной утечкой дизельного топлива возможность возникновения количества пожаров увеличивается на 0,864658, при увеличении аварийной ситуации, вызванной механическими повреждениями возможность возникновения количества пожаров увеличивается на 0,369280, при увеличении аварийной ситуации, вызванной разрядом молнии возможность возникновения количества пожаров увеличивается на 0,773686.

Выводы

Наиболее значимыми факторами, влияющими на количество и возникновение пожаров, оказались разряд статического электричества, утечка дизельного топлива, механические повреждения и разряд молнии. Это подтверждается результатами сравнительного анализа, который показал, что метеорологические условия не оказывают значительного влияния на возникновение пожаров на складе горюче-смазочных материалов. Таким образом, данные факторы выступают важными точками для учета при разработке мер по предотвращению пожаров и обеспечению безопасности на объекте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Попович, А. П.** Анализ пожарной опасности на складах ГСМ [Текст] / А. П. Попович // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». – 2023. – № 12 (69). – Т. 2. – С. 1348–1353.

2 **Максимова, А. С., Щукина, А. Д.** Возникновение и развитие пожаров в резервуарах и резервуарных парках. Пожарная безопасность [Текст] / А. С. Максимова, А. Д. Щукина // Молодежный научный форум №26 (95): Электронный сборник статей по материалам ХCV студенческой международной научно-практической конференции. – Москва : Изд-во «МЦНО», 2020. – С. 16–18.

3 **Абжанова, А. С., Котов, Е. С.** Модернизация системы управления пожаротушением на складе ГСМ разреза «Восточный» в г. Экибастуз [Текст] / А. С. Абжанова, Е. С. Котов // Труды Международной научно-практической онлайн конференции «Формирование интеллектуального капитала в условиях цифровой трансформации: опыт, вызовы, перспективы». Часть 1. – Караганда: МНиВО РК, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, 2022. – С. 416–418.

4 **Абжанова, А. С., Котов, Е. С.** Модернизация системы пожаротушения на складе горюче-смазочных материалов: повышение безопасности и эффективности [Текст] / А. С. Абжанова, Е. С. Котов // Труды Международной научно-практической конференции «XV Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства». Часть 2. – Караганда : МНиВО РК, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, 2023. – С. 9–11.

5 **Большакова, Л. В., Литвиненко, А. Н.** Методика применения статистического пакета анализа для проведения корреляционно-регрессионного анализа в ходе экономических исследований // Вестник экономической безопасности. – 2021. – № 3. – С. 259–265.

6 **Василян, Э. А., Зимин, Г. С., Семенов, А. О.** Особенности расчета финансовых затрат на тушение пожаров в резервуарных парках // Пожарная и аварийная безопасность. – Иваново: Издательство, 2018. – С. 244–246.

7 **Хуртина, Е. Ю., Мухаметшина, Я. М., Нечаева, О. А.** Влияние вредных веществ на атмосферу в результате горения нефтепродуктов на складе ГСМ // НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ И ИННОВАЦИИ: сборник статей Международной научно-практической конференции Международного центра инновационных исследований «ОМЕГА САЙНС», Часть 4. – 2016. – С. 18–20.

8 **Бажанов, В. Ю., Кравченко, Ю. А.** Исследование статистических данных методами корреляционно-регрессионного анализа // Вестник МФЮА. – 2014. – № 2. – С. 108–115.

9 **Андреева, Н. В., Червякова, М. Ю.** Разработка методики прогнозирования с использованием корреляционно-регрессионного анализа // Научный журнал по экономике и бизнесу «Экономический анализ: Теория и практика». – 2014. – С. 38–45.

10 Основы линейной регрессии [Электронный ресурс]. URL: <http://statistica.ru> (Дата обращения 15.01.2024).

Поступило в редакцию 23.02.2024.
Поступило с исправлениями 27.02.2024.
Принято в печать 11.04.2024.

REFERENCES

1 **Popovich, A. P.** Analiz pozharnoj opasnosti na skladax GSM [Analysis of fire hazard in fuel and lubricants warehouses] [Text] / A. P. Popovich // International scientific journal «BULLETIN OF SCIENCE». – 2023. – № 12 (69). – Т. 2. – P. 1348–1353.

2 **Maksimova, A. S., Shhukina, A. D.** Vozniknovenie i razvitie pozharov v rezervuarax i rezervuarny`x parkax. Pozharnaya bezopasnost` [The occurrence and development of fires in tanks and tank farms. Fire safety] [Text] / A. S. Maksimova, A. D. Shhukina // Youth scientific forum No. 26 (95): Electronic collection of articles based on the materials of the XCV student international scientific and practical conference. – Moscow: Publishing house «MCNO», 2020. – P. 16–18.

3 **Abzhanova, A. S., Kotov, E. S.** Modernizaciya sistemy` upravleniya pozharotusheniem na sklade GSM razreza «Vostochny`j» v g. E`kibastuz [Modernization of the fire extinguishing control system at the fuel and lubricants warehouse of the Vostochny open-pit mine in Ekibastuz] [Text] / A. S. Abzhanova, E. S. Kotov // Proceedings of the International Scientific- practical online conference “Formation of intellectual capital in the context of digital transformation: experience, challenges, prospects.” Part 1. – Karaganda: Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, 2022. – P. 416–418.

4 **Abzhanova, A. S., Kotov, E. S.** Modernizaciya sistemy` pozharotusheniya na sklade goryuche-smazochny`x materialov: povy`shenie bezopasnosti i e`ffektivnosti [Modernization of the fire extinguishing system at a warehouse of fuels and lubricants: increasing safety and efficiency] [Text] / A. S. Abzhanova, E. S. Kotov // Proceedings of the International Scientific and Practical conference «XV Saginov Readings. Integration of education, science and production». Part 2. – Karaganda: Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, 2023. – P. 9–11.

5 **Bol`shakova, L. V., Litvinenko, A. N.** Metodika primeneniya statisticheskogo paketa analiza dlya provedeniya korrelyacionno-regressionnogo analiza v xode e`konomicheskix issledovaniy [Methodology for using a statistical analysis package for conducting correlation and regression analysis in the course of economic research] // Bulletin of Economic Security. – 2021. – № 3. – P. 259–265.

6 **Vasilyan, E` . A., Zimin, G. S., Semenov, A. O.** Osobennosti rascheta finansovy`x zatrat na tushenie pozharov v rezervuarny`x parkax [Features of calculating financial

costs for extinguishing fires in tank farms] // Fire and emergency safety. – Ivanovo: Publishing House, 2018. – P. 244–246.

7 **Xurtina, E. Yu., Muxametshina, Ya. M., Nechaeva, O. A.** Vliyanie vredny`x veshhestv na atmosferu v rezul`tate goreniya nefteproduktov na sklade GSM [The influence of harmful substances on the atmosphere as a result of the combustion of petroleum products in a fuel and lubricants warehouse] // SCIENCE, EDUCATION AND INNOVATION: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference International Center innovative research «OMEGA SCIENCE», Chast` 4. – 2016. – P. 18–20.

8 **Bazhanov, V. Yu., Kravchenko, Yu. A.** Issledovanie statisticheskix danny`x metodami korrelyacionno-regressionnogo analiza [Study of statistical data by methods of correlation and regression analysis] // Bulletin of the MFLA. – 2014. – № 2. – P. 108–115.

9 **Andreeva, N. V., Chervyakova, M. Yu.** Razrabotka metodiki prognozirovaniya s ispol`zovaniem korrelyacionno-regressionnogo analiza [Development of forecasting methods using correlation and regression analysis] // Scientific journal on economics and business «Economic analysis: Theory and practice». – 2014. – P. 38–45.

10 *Osnovy` linejnoy regressii* [Basics of linear regression]. – [Electronic resource]. – URL: <http://statistica.ru> (Date of access : 15.01.2024).

***A. C. Абжанова, E. C. Котов**

Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

23.02.2024 ж. баспаға түсті.

27.02.2024 ж. түзетулерімен түсті.

11.04.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖЖМ ҚОЙМАЛАРЫНДАҒЫ ӨРТТІ БОЛЖАУ: ӘСЕР ЕТУ ФАКТОРЛАРЫН РЕГРЕССИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Жанар-жағармай материалдарын (ЖЖМ) сақтау объектілеріндегі өрттер осы материалдардың тез тұтанғыштығының жоғары дәрежесіне байланысты қауіпсіздікке және қоршаған ортаға елеулі қауіп төндіреді, бұл олардың ықтимал пайда болуын бақылаудың маңыздылығын көрсетеді.

Зерттеу Екібастұздағы «Восточный» қимасының ЖЖМ қоймасында өрттердің пайда болуына ықпал ететін факторларды талдауға бағытталған. «STATISTICA» бағдарламалық пакетін пайдалана отырып, өрттің ықтимал себептерінің екі тобына салыстырмалы талдау жүргізілді. Бірінші топқа метеорологиялық жағдайлар, екіншісіне статикалық разряд, дизель отынының ағуы, механикалық зақымдану және найзағай разряды сияқты төтенше жағдайлар кіреді. Сонымен қатар, бірнеше корреляцияны, маңыздылық деңгейін тексеруді, қалдықтардың гистограммасын талдауды, қалдықтардың қалыпты таралуын тексеруді, сондай-ақ болжамды мәндер

мен қалдықтардың графигін құруды қамтитын салыстырмалы талдау жүргізілді.

Талдау нәтижесі факторлар мен өрт саны арасындағы байланысты бағалауға мүмкіндік беретін регрессиялық теңдеу болып табылады. Статикалық электр разряды, дизель отынының ағуы, механикалық зақымдану және найзагай разряды өрттің пайда болу мүмкіндігіне үлкен әсер ететіні атап өтілді. Бұл факторларды ЖЖМ қоймасында өрттің алдын алу шараларын әзірлеу кезінде ескеру қажет. Регрессия теңдеуі тәуелсіз айнымалылардың мәндері негізінде өрттің пайда болу ықтималдығын болжауға мүмкіндік береді, бұл өрт қаупін жоспарлау мен басқаруды тиімдірек етеді.

Түйінді сөздер: жанар-жағармай материалдары, болжау, регрессиялық талдау, метеорологиялық жағдайлар, тәуекелдерді басқару, объектінің қауіпсіздігі, өрттің туындауы.

*A. S. Abzhanova, E. S. Kotov

Abylkas Saginov Karaganda technical university,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 23.02.2024.

Received in revised form 27.02.2024.

Accepted for publication 11.04.2024.

FORECASTING FIRES IN FUEL AND LUBRICANTS WAREHOUSES: REGRESSION ANALYSIS OF INFLUENCE FACTORS

Fires at fuel and lubricants storage facilities pose a serious threat to safety and the environment due to the high degree of flammability of these materials, which underlines the importance of controlling their possible occurrence.

The study focuses on the analysis of factors contributing to the occurrence of fires at the fuel depot of the Vostochny section in Ekibastuz. A comparative analysis of two groups of potential causes of fires was carried out using the STATISTICA software package. The first group includes meteorological conditions, the second - emergency situations such as static electricity discharge, diesel fuel leakage, mechanical damage and lightning discharge. Additionally, a comparative analysis was carried out, including multiple correlation, checking for the level of significance, analyzing the histogram of residues, checking for the normality of the distribution of residues, as well as plotting predicted values and residues.

The result of the analysis is a regression equation that allows us to estimate the relationship between factors and the number of fires. It is noted that static electricity discharge, diesel fuel leakage, mechanical damage and lightning discharge have the greatest impact on the possibility of a fire. These factors should be taken into account when developing measures to prevent fires in a fuel warehouse. The regression equation will make it possible to predict the probability of fires based on the values of independent variables, which will ensure more effective planning and management of fire risks.

Keywords: fuels and lubricants, forecasting, regression analysis, meteorological conditions, risk management, facility safety, occurrence of fires.

МРНТИ: 67.01.97

*Ә. А. Нуралиев, С. А. Усенов, А. К. Мухтаров

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

*e-mail: adlnur2017@gmail.com

СУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІН АРТТЫРУ

Қалаларды сумен жабдықтау стратегиялық мақсаттағы тіршілікті қамтамасыз етудің маңызды құрылымы ретінде адам денсаулығын қорғаудың, ұлттық қауіпсіздіктің және мемлекеттің әлеуметтік-экономикалық жетілуінің айқындаушы құрамдас бөлігі болып саналады. Сонымен қатар, Қазақстанның көптеген өңірлерінде экономикалық ыңғайлы тазарту технологияларының болмауына байланысты ауыз судың нормативтік сапасы сақталмайды.

Су құбыры желілерінің қанағаттанарлықсыз техникалық жай-күйі, оның химиялық және бактериялық ластануына, сондай-ақ елеулі шығындарға алып келеді, бұл жер асты сулары деңгейінің көтерілуіне, қалалық аймақтардың су басуына және жерасты құрылымдарының бұзылуына әкеледі. Су құбыры кешендерінің гидротехникалық құрылымдары мен хлор шаруашылығы объектілерінің экологиялық қауіпті процестердің жетілуімен авариялық жағдайлардың туындау қаупі өте жоғары. Қазақстан жоғары су стресін сезініп отырған елдердің қатарына енді, ол 68 мемлекеттің ішінде 60-шы орында және су ресурстары мен онымен байланысты экологиялық жүйелердің нашарлығымен ерекшеленеді. Ел аумағы бойынша тұщы судың бірдей таралмауы, өзен ағымының маусымдық және көпжылдық тұрақсыздығы, оның басым бөлігінің мемлекеттен тысқары түзілуі, су көздерінің ластануы бұдан аргы әлеуметтік-экономикалық дамуға қауіп төндіреді. Қазіргі кезде елімізде сумен қамтамасыз ету мәселесі әзірге экономика салалары мен тұрғындарды қанағаттандырып отыр, бірақ сумен қамтамасыз ету проблемасы тек ушыға беретіні түсінікті. Су шаруашылығы құрылымдарының басым бөлігі кеңестік дәуірде салынған және олар қазіргі кезде нақты да, моралдық та тұрғыдан тым тозып кеткен.

Маңызды және аз зерттелген мәселелердің бірі экологиялық қауіпсіздікті және қала аймақтары мен халықты азаматтық қорғаудың қажетті деңгейлерін қамтамасыз ете отырып, тұтынушыларға ауыз суды үздіксіз жеткізуді қолдау болып қала береді.

Кілтті сөздер: экологиялық қауіпсіздік, су тарату жүйесі, мембрана, реагент, экожүйе.

Кіріспе

Сумен жабдықтау жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігі - қоршаған ортаның және адамның өмірлік маңызды мүдделерінің шаруашылыққа және өзге де қызметтердің теріс әсерінен, техногендік және табиғи сипаттағы төтенше

жағдайлардан, олардың тұтынушыларға су тазарту, алу және беру үшін инженерлік құрылыстар кешеніндегі зардаптарынан қорғалу жағдайлары. Қажетті сапа үшін өнеркәсіптің, халықтың және ауыл шаруашылығының қажеттіліктеріне үздіксіз су беру сумен жабдықтау жүйелерінің пайдалану және технологиялық сипаттамасын дамытуды қажет етеді. Сумен жабдықтау жүйесінің техникалық - экономикалық көрсеткіштері мен сенімділігі оның пайдалану құрылымдық шешімі мен сипаттамаларына байланысты.

Бұл ретте сумен жабдықтау құрылыстарының жұмыс параметрлерін жетілдіру, өңірлердің экологиясына залал келтірместен, олардың сенімділігі мен үнемділігін арттыру мәселелері басым мәнге ие болады.

Зерттеу жұмысының мақсаты мен міндеттері: Техникалық және табиғи сипаттағы (биоөңдеу, сумен жабдықтау жүйелерінің жұмыс режимі) түрлі факторлар кезінде сумен жабдықтау жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру жөніндегі іс-шараларды әзірлеу. Сумен жабдықтау жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету.

1 Сумен жабдықтау жүйелеріндегі ықтимал экологиялық қауіпсіздік мәселелеріне теориялық шолу;

2 Сумен жабдықтау жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру бағыттарының жұмысын талдау;

3 Тұтынушыларға су алу, тазарту және беру үшін инженерлік құрылыстар кешенінің экологиялық қауіпсіздігінің тиімділігі мен сенімділігін арттыру жөніндегі іс-шараларды әзірлеу.

Нәтижелер. Талдау нәтижесінде сумен жабдықтау жүйелерінің экологиялық-технологиялық мәселелері қаралды, суды сақтау, беру және тарату жүйелерінің негізгі теріс факторлары анықталды.

Су қабылдағыштарды пайдалану процесінде әртүрлі экологиялық және технологиялық проблемалар туындайды: мұзды мұзды кедергілер, балдырлар (судың «гүлденуі»); биологиялық ластану (дрейсена, балдырлар), сондай-ақ балықты қорғау. Талдау барысында сумен жабдықтау жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігінің қолданыстағы технологиялық және пайдалану шаралары қаралды.

Жұмыс барысында су алуға, тазартуға және беруге арналған инженерлік құрылыстар кешенінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру бойынша ұсынымдар әзірленді:

– Жер үсті көздерінен су алу құрылыстарында сүзгіш су қабылдағышты қолдану, сондай-ақ су қабылдағыштарды балық қорғауды қамтамасыз ету жөніндегі проблемалар кешенін шешуге мүмкіндік береді. Су жинау құрылыстары элементтерінің биоқоршауын болдырмау жөніндегі іс-шаралар кешенін әзірлеу қажет. Бұл жағдайда био-ластанумен күресудің әртүрлі әдістерін біріктіруге болады (реагент, электрохимиялық, термиялық және т.б.).

– Су құбырын тазарту құрылыстарының экологиялық қауіпсіздігін арттыру үшін: тазартылған суда олардың қалдық концентрацияларының пайда болуын болдырмау үшін реагенттердің дозаларын оңтайландыру; типтік тазарту құрылыстарында Реагенттерді дайындау мен мөлшерлеудің қолданыстағы

жабдықтарын ауыстыру; жауын-шашынды механикалық сусыздандыру құрылыстарын қолдану және су құбырын тазарту құрылыстарында жуу суларын қайта пайдалану талап етіледі.

– Суды беру және тарату жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру үшін мыналар қажет: қолданыстағы су құбырларының құбырларын ауыстыру; қазіргі уақытта ПНД құбырларын қолдану неғұрлым орынды; құбырларды ауыстыруды трансшеясыз технологияларды қолдана отырып жүзеге асыру, бұл қоршаған табиғи ортаға және қолданыстағы коммуникацияларға келтірілетін зиянды азайтуға мүмкіндік береді.

Талдау

Физика-химиялық және гидробиологиялық көрсеткіштерді ескере отырып, жер үсті суларының сапасын бағалауды жіктеуді жүйелеу, әсіресе гидробиологиялық сыныптар бойынша су сапасын бағалау критерийлерінің әр түрлі оқылуын болдырмау. Таңдалған көзді мемлекеттік қадағалау органдарымен келісу кезінде суды өңдеудің заманауи технологиялық мүмкіндіктерін (мембраналық технологиялар, жаңа каталитикалық материалдарды, реагенттерді қолдану, зарарсыздандыру әдістері) ескеру қажет.

XX ғасырдың ортасынан бастап алдын-ала коагуляция арқылы тұндыру мен сүзуге байланысты біздің елімізді сумен жабдықтауда жиі қолданылатын әдістер ерекше өзгерген жоқ. Сонымен қатар, бірінші әдіс табиғи қоспаларды жақсы жояды, бірақ суды ластайтын техногендік заттар санының өсуінде айтарлықтай өзгеріс болды, оларды жою үшін әдеттегі әдістер оң нәтиже бере алады.

Жаңа санитарлық нормативтерге сәйкес мыңнан астам бақыланатын химиялық заттар байқалады. Суды бастапқы хлорлау кезінде 100-ден астам органикалық хлор қосылыстары түзілуі мүмкін, бұл судың сапасына теріс әсер етеді. Органикалық заттардың құрамы судың перманганатты тотығуымен бағаланады. Калий перманганатының техногендік сипаттағы органикалық қосылыстардың тотығу қиындықтарына байланысты «органикалық» құрамы бойынша судың нақты сапасы бұл көрсеткішпен көрінбейді.

Қазақстан тұрғындарын сапалы ауыз сумен қамтамасыз етудегі қиындықтар мұның мемлекеттік ауқымдағы проблемаға айналуына алып келді. Флотация, хлорлау, тұндыру, коагуляция және сүзу арқылы таза ауыз су алудың жиі қолданылатын әдістері келесі маңызды кемшіліктерге ие: ресурстардың үлкен шығындары және жабдықтың өлшемдері; тазалаудан кейінгі су сапасының тұрақсыздығы; қымбат химиялық заттарды тұтыну. Ультрафилтрацияда жоғарыда аталған кемшіліктер жоқ. Оның көмегімен су микробиологиялық ластаушы заттардан және жоғары молекулалық органикалық қосылыстардан тазартылады. Алдын ала коагуляция кезінде ағарту әсері және органикалық қосылыстардың алыну дәрежесі айтарлықтай артады. Бұл әдістің тиімділігі коагулянт дозасының өзгеруіне байланысты емес, өйткені пайда болған үлпектердің мөлшері олардың мөлшеріне қарамастан пайда болады. Үлкен үлпектерді қалыптастыру үшін үлкен уақыт шығындары қажет емес және үлпек камерасын пайдаланудың қажеті жоқ.

Ультрафилтрациялық әдіспен тазартылған су микробиологияда қауіпсіз және судың бастапқы құрамына тәуелсіз керемет сапаға ие.

Мембраналық технологияларды қолдану суды тазартудың технологиялық схемаларында шаруашылық-ауыз су үшін су көздерінің тізімін толықтыруға мүмкіндік береді. Бұл технологияларға ультрафилтрация, кері осмос, нанофилтрация жатады)

Қазіргі уақытта әлемнің жетекші елдерінде суды тазартатын, органикалық заттар мен ауыр металдарды, микробиологиялық ластануды тазартатын жаңа нанофилтрациялық құрылғылар енгізілді.

Шетелде суды тазартуға арналған жабдықтың бірнеше түрі шығарылады: шыны талшықты парақтардың қабаттары; микробиологиялық ластағыштардан суды тазартуға арналған шағын өлшемді жабдықтар; тұзсыздандырғыштар; құбырлы мембраналар.

Су көздерін әртүрлі технологиялық және ұйымдастырушылық шараларды қолдана отырып, антропогендік жүктемеден қорғауды егжей-тегжейлі ескеру қажет.

Су көздерінің жалпы экологиялық жағдайын жақсарту үшін оларды жер үсті ағынынан қорғау және ағынды суларды рұқсатсыз ағызу шараларын қолдану қажет. Бұл проблемалар әсіресе шағын елді мекендер мен қалалық елді мекендер орналасқан су ағындарының, өзендердің, көлдердің, су қоймаларының жағасында айқын көрінеді. Бұл ретте су көздеріне көптеген ластанулар (мұнай өнімдері, биогендік элементтер, еріген органикалық және минералды заттар және т.б.) түседі. Бұл ластанулардың су көздеріне түсуін болдырмау немесе азайту үшін жағалауды нығайту (габиондар) және жергілікті тазарту (нөсер және еріген сулардың ЛОС) шараларын қарастыру қажет. ГОСТ өте қысқа және мұндай іс-шараларды өткізу бойынша ұсыныстарды қарастырмайды. Оны жаңартылған заңнамалық базаны және техникалық прогрестің қарқынды дамуын ескере отырып кеңейту қажет.

Терминологияны басқа нормативтік құжаттармен және актілермен сәйкестендіру, мысалы, іс жүзінде «орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйесінің санитарлық сенімділігі» деген бірыңғай түсінік жоқ.

Қорытынды

Пысықталмаған терминология көптеген түсінбеушіліктерге және көптеген түсіндірулерге алып келеді, бұл судың сапасын бақылау саласындағы заңнама жүйесінде айқындық пен тәртіпті жоғалтуға әкеледі

Су құбырын тазарту құрылыстарының экологиялық қауіпсіздігін арттыру үшін:

1 Тазартылған суда олардың қалдық концентрациясының пайда болуын болдырмау үшін реагенттердің дозаларын оңтайландыру;

2 Типтік тазарту құрылыстарында қолданыстағы реагенттерді дайындау және мөлшерлеу жабдығын ауыстыру;

3 Жауын-шашынды механикалық сусыздандыру құрылыстарын қолдану және су құбырын тазарту құрылыстарында шайынды суларды қайта пайдалану.

Сумен жабдықтау және тарату жүйелерінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру үшін:

1 Қолданыстағы су құбырларының құбырларын ауыстыру.

2 Қазіргі уақытта ТҚП (ПНД - полиэтилен низкого давления) құбырларын қолданған жөн.

3 Құбырларды ауыстыру траншеясыз технологияларды қолдана отырып жүзеге асырылады, бұл қоршаған ортаға және қолданыстағы коммуникацияларға келтірілген зиянды азайтуға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Назначение и расположение пунктов контроля. Программы и периодичность проведения контроля. Приложение 3 [Электронный ресурс] : «ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков». URL:<http://gostexpert.ru/gost/gost-17.1.3.07-82> (дата обращения: 23.10.2017).

2 **Ерофеев, Б. В.** Экологическое право России : учебник для академического бакалавриата / Б. В. Ерофеев; под науч. ред. Л. Б. Братковской. – 24-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 455 с. [Электронный ресурс] : <http://avidreaders.ru/book/ekologicheskoe-pravo-rossii-24-e-izd.html>.

3 Определение границ поясов ЗСО. Основные мероприятия на территории ЗСО [Электронный ресурс] : «СанПиН 2.1.4.1110-02 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения». URL:<http://www.gosthelp.ru/text/sanpin214111002zonysanita.html> (дата обращения : 07.11.2017).

4 **Малышева, А. В.** Подходы к оценке загрязнения водных объектов / А. В. Малышева // Подходы к оценке загрязнения водных объектов: сборник студенческих работ в научно-практической конференции «Студенческие дни науки в ТГУ» – Тольятти: Издательство ТГУ, 2015. – С. 70–72.

5 Автореферат диссертации по теме «Водоросли в системе водоснабжения г. Уфы и альгологическая оценка качества воды», автор Насырова М. Р. [Электронный ресурс] : «Диссертации о Земле». URL:<http://earthpapers.net/vodorosli-v-sisteme-vodosnabzheniya-g-ufy-i-algologicheskaya-otsenka-kachestva-vody>(дата обращения: 01.10.2017).

6 Трубопроводы из различных материалов, плюсы и минусы [Электронный ресурс]: «Сайт ООО инженерный Центр «Инсталл». URL:<http://pskovclimate.ru/articles/uchebnye-materialy/truboprovody-iz-razlichnyh-materialov-pljusy>(дата обращения: 30.12.2017).

7 **Янин, Е. П.** Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) // Экологическая экспертиза, [Электронный ресурс]: «Некоммерческое партнерство «АРСО». Ассоциация предприятий по обращению с ртутьсодержащими и другими отходами» URL: <http://www.nparso.ru/images/docs/OS17.pdf> (дата обращения: 17.10.2017). – 2010. – № 5, С. 3–45.

8 Технологии. Очистка промывных вод. Принципиальные решения по обработке технологических вод и осадков станций водоподготовки [Электронный ресурс]: «Сайт частного предприятия «Сервис О.К.»» URL: <http://serviceok.com.ua/menyu/tech/ochistka-promyvnyx-vod/> (дата обращения: 12.12.2017).

9 Промышленная безопасность. Каковы критерии и пути обеспечения экологической безопасности водопроводных сетей? [Электронный ресурс]: «Интернет-портал NewChemistry. Аналитический портал химической промышленности» URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=628 (дата обращения: 08.11.2017).

10 Очистители воздуха для резервуаров чистой воды - фильтр поглотитель «ФП» [Электронный ресурс]: «Сайт компании «Воздухоочистка»» http://www.air-cleaning.ru/clear_water.php (дата обращения: 23.09.2017).

Поступило в редакцию 02.03.2024.

Поступило с исправлениями 05.03.2024.

Принято в печать 29.03.2024.

REFERENCES

1 Naznachenie i raspolozhenie punktov kontrolya. Programmy` i periodichnost` provedeniya kontrolya. Prilozhenie 3 : «GOST 17.1.3.07-82 Oхrana prirody`. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody` vodoemov i vodotokov». [Purpose and location of control points. Control programs and frequency. Appendix 3 [Electronic resource]: «GOST 17.1.3.07-82 Nature protection. The hydrosphere. Rules for water quality control of reservoirs and watercourses»]. URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-17.1.3.07-82> (date of application: 10/23/2017).

2 **Yerofeyev, B. V.** E`kologicheskoe pravo Rossii : uchebnyk dlya akademicheskogo bakalavriata [Environmental law of Russia : textbook for academic bachelor`s degree] / B. V. Yerofeyev; edited by L. B. Bratkovskaya. – 24th ed., reprint. and additional – M. : Yurait Publishing House, 2018. – 455 p. – [Electronic resource]: <http://avidreaders.ru/book/ekologicheskoe-pravo-rossii-24-e-izd.html>.

3 Opredelenie granicz poyasov ZSO. Osnovny`e meropriyatiya na territorii ZSO : «SanPiN 2.1.4.1110-02 Zony` sanitarnoj oхраны` istochnikov vodosnabzheniya i vodoprovodov pit`evogo naznacheniya» [Defining the boundaries of the ZSO belts. The main activities on the territory of the ZSO [Electronic resource]: «SanPiN 2.1.4.1110-02 Zones of sanitary protection of water supply sources and drinking water supply lines»]. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/sanpin214111002zonysanita.html> (date of application : 07.11.2017).

4 **Malysheva, A. V.** Podxody` k oцenke zagryazneniya vodny`x ob`ektov [Approaches to the assessment of pollution of water bodies] / A. V. Malysheva // Approaches to the assessment of pollution of water bodies : a collection of student papers at the scientific and practical conference «Student Days of Science at TSU» – Tolyatti : TSU Publishing House, 2015. – P. 70–72.

5 Avtoreferat dissertacii po teme «Vodorosli v sisteme vodosnabzheniya g. Ufy` i al`gologicheskaya ocenka kachestva vody`», avtor Nasy`rova M. R. : «Dissertacii o Zemle» [Abstract of the dissertation on the topic «Algae in the water supply system of Ufa and algological assessment of water quality», author Nasyrova M. R. [Electronic resource]: «Dissertations on the Earth»]. URL: <http://earthpapers.net/vodorosli-v-sisteme-vodosnabzheniya-g-ufy-i-algologicheskaya-otsenka-kachestva-vody> (date of application: 01.10.2017).

6 Truboprovody` iz razlichny`x materialov, plyusy` i minusy` : «Sajt OOO inzhenerny`j Centr «Instal»» [Pipelines made of various materials, pros and cons [Electronic resource]: «Website of LLC engineering Center «Instal»»]. URL: <http://pskovclimate.ru/articles/uchebnye-materialy/truboprovody-iz-razlichnyh-materialov-pljusy> (date of application: 12/30/2017)

7 **Yanin, E. P.** Osadok vodoprovodny`x stancij (sostav, obrabotka, utilizaciya) [Sediment of water supply stations (composition, treatment, disposal)] // Ecological expertise, 2010, No. 5, P. 3–45. [Electronic resource]: «Non-profit partnership «ARSO». Association of Enterprises for the management of mercury-containing and other waste». – [Electronic resource]. – URL: <http://www.nparso.ru/images/docs/OS17.pdf> (date of application: 17.10.2017).

8 Texnologii. Oчistka promy`vny`x vod. Principial`ny`e resheniya po obrabotke texnologicheskix vod i osadkov stancij vodopodgotovki : «Sajt chastnogo predpriyatiya «Servis O.K.»» [Technology. Cleaning of washing waters. Principal solutions for the treatment of process waters and sediments of water treatment plants [Electronic resource]: «Website of the private enterprise «Service O. K.»»] URL: <http://serviceok.com.ua/menyu/tech/ochistka-promyvnyx-vod/> (date of request: 12.12.2017).

9 Promy`shlennaya bezopasnost`. Kakovy` kriterii i puti obespecheniya e`kologicheskoy bezopasnosti vodoprovodny`x setej? [Industrial safety. What are the criteria and ways to ensure the environmental safety of water supply networks?] [Electronic resource]: «NewChemistry Internet portal. Analytical portal of the chemical industry» URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=628 (date of application : 08.11.2017).

10 Oчistiteli vozduxa dlya rezervuarov chistoj vody` - fil`tr poglotitel` «FP» [Air purifiers for clean water tanks - filter absorber «FP»] [Electronic resource]: «Website of the company «Air purification»» http://www.air-cleaning.ru/clear_water.php (date of application: 09/23/2017).

*А. А. Нуралиев, С. А. Усенов, А. К. Мухтаров

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Астана

02.03.2024 ж. баспаға түсті.

05.03.2024 ж. түзетулерімен түсті.

29.03.2024 ж. басып шығаруға қабылданды.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Водоснабжение городов как важнейшая структура жизнеобеспечения стратегического назначения является определяющей составляющей охраны здоровья человека, национальной безопасности и социально-экономического совершенства государства. Кроме того, во многих регионах Казахстана не соблюдается нормативное качество питьевой воды из-за отсутствия экономически удобных технологий очистки.

Неудовлетворительное техническое состояние водопроводных сетей приводит к химическому и бактериальному загрязнению, а также к значительным потерям, что приводит к повышению уровня грунтовых вод, затоплению городских территорий и разрушению подземных сооружений. С развитием экологически опасных процессов гидротехнических сооружений водопроводных комплексов и объектов хлористого хозяйства риск возникновения аварийных ситуаций очень высок. Казахстан вошел в число стран, испытывающих высокий водный стресс, он занимает 60-е место из 68 государств и отличается плохими водными ресурсами и связанными с ними экологическими системами. Неравномерное распределение пресной воды по территории страны, сезонная и многолетняя нестабильность течения реки, образование ее большей части за пределами государства, загрязнение водных источников угрожают дальнейшему социально-экономическому развитию. В настоящее время вопрос водоснабжения в стране пока удовлетворяет отрасли экономики и население, но понятно, что проблема водоснабжения-это только вопрос водоснабжения. Большая часть водохозяйственных сооружений была построена в советское время, и в настоящее время они слишком изношены как в реальном, так и в моральном плане.

Одной из важных и малоизученных проблем остается поддержка бесперебойной доставки питьевой воды потребителям, обеспечивая при этом экологическую безопасность и необходимый уровень гражданской защиты городских территорий и населения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, система распределения воды, мембрана, реагент, экосистема.

*А. А. Nuraliev, S. A. Usenov, A. K. Mukhtarov

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

Received 02.03.2024.

Received in revised form 05.03.2024.

Accepted for publication 29.03.2024.

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF WATER SUPPLY SYSTEMS

Urban water supply as an important life support structure for strategic purposes is considered a determining component of human health protection, national security and socio-economic improvement of the state. At the same time, in many regions of Kazakhstan, the regulatory quality of drinking water is not observed due to the lack of economically convenient treatment technologies.

The unsatisfactory technical condition of the water supply network, which leads to its chemical and bacterial contamination, as well as serious losses, leads to an increase in the level of groundwater, flooding of urban areas and destruction of underground structures. With the development of environmentally hazardous processes of hydraulic structures of water supply complexes and chlorine facilities, the risk of occurrence of emergency situations is very high. Kazakhstan is one of the countries experiencing high water stress, it ranks 60th out of 68 countries and is distinguished by poor water resources and associated ecological systems. The unequal distribution of fresh water throughout the country, seasonal and perennial instability of river flow, the formation of most of it outside the state, and pollution of water sources threaten further socio-economic development. Currently, the problem of water supply in the country still satisfies the sectors of the economy and the population, but it is clear that the problem of water supply is only exacerbated. Most of the water management structures were built in Soviet times, and they are now too worn out, both in real and moral terms.

One of the most important and little-studied issues remains to support the uninterrupted supply of drinking water to consumers, ensuring environmental safety and the necessary levels of civil protection of urban areas and the population.

Keywords: environmental safety, water distribution system, membrane, reagent, ecosystem.

СВЕДЕНИЯ О АВТОРАХ

Абілқайыр Жасталап Наурызғали, PhD, аға оқытушы, «Машинажасау» кафедрасы, Энергетика және машина жасау институты, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: z.abilkaiyr@satbayev.university

Абжанова Айсулу Сериковна, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша магистрант, Энергетика, автоматика және телебайланыс факультеті, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: abzhanova01@inbox.ru

Абзалова Диларам Абдурасуловна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dilya_0158@mail.ru

Абишев Қайратолла Қайроллаұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

Абілқайыр Жасталап Наурызғали, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Машиностроение», Институт энергетика и машиностроения, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: z.abilkaiyr@satbayev.university

Абжанова Айсулу Сериковна, магистрант по специальности «Автоматизация и управление», Факультет энергетика, автоматика и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: abzhanova01@inbox.ru

Абзалова Диларам Абдурасуловна, кандидат технических наук, доцент, Факультет «Механика и нефтегазовое дело», ЮКУ имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: dilya_0158@mail.ru

Абишев Қайратолла Қайруллинович, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Транспортная техника и логистика», Факультет Инженерии, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

Abilkaiyr Zhastalap, PhD, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: z.abilkaiyr@satbayev.university

Abzhanova Aisulu Serikovna master student in «Automation and control», Faculty of Energy, Computer Science and Telecommunications, Abylqas Saginov Karaganda technical university, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: abzhanova01@inbox.ru

Abzalova Dilaram Abdurasulovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of «Mechanics and Oil and Gas Engineering», M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, 160000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dilya_0158@mail.ru

Abishev Kairatollah Kairullinovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Transport Engineering and Logistics», Faculty of Engineering, Toraighyrov university, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Алимова Алмагуль Хамиттеновна, магистратура студенті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140001, Қазақстан Республикасы, e-mail: almagul0709@mail.ru

Алишынова Айман Медеубекқызы, PhD, қауымд. профессор, «Өндірістік процестердің машиналары мен аппараттары» кафедрасы, Инжиниринг және ақпараттық технологиялар факультеті, Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: aiman16@mail.ru

Альмуханов Марат Абдуалиевич, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Инженерлік-экологиялық» факультеті, А. Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Кокшетау қ. 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: al_mar56@mail.ru

Альпеисов Азамат Турусбекович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, М. Тынышбаев атындағы көлік инженериясы және логистика мектебі, Көлік инженериясы бағыты, Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Satbayev University, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: alpeisov73@mail.ru

Алимова Алмагуль Хамиттеновна, магистрант, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140001, Республика Казахстан, e-mail: almagul0709@mail.ru

Алишынова Айман Медеубековна, PhD, асоц. профессор, кафедра «Машины и аппараты производственных процессов», факультет инжиниринга и информационных технологий, Алматинский технологический университет, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: aiman16@mail.ru

Альмуханов Марат Абдуалиевич, кандидат технических наук, доцент, Инженерно-экологический факультет, Кокшетауский университет имени А. Мырзахметова, г. Кокшетау, 020000, Республика Казахстан, e-mail: al_mar56@mail.ru

Альпеисов Азамат Турусбекович, кандидат технических наук, асоц. профессор направления подготовки «Транспортная инженерия», школа Транспортная инженерия и логистика имени М.Тынышпаева, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Satbayev University, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: alpeisov73@mail.ru

Alimova Almagul, Master's degree student, Toraighyrov university, Pavlodar, 140001, Republic of Kazakhstan, e-mail: almagul0709@mail.ru

Alshynova Aiman Medeubekovna, PhD, associate professor, Department of «Machines and Devices of Production Processes», Faculty of Engineering and Information Technologies, Almaty Technological University, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan, e-mail: aiman16@mail.ru

Almukhanov Marat Abdualievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Environmental Engineering, Kokshetau University named after A. Myrzakhmetov, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: al_mar56@mail.ru

Alpeisov Azamat Turusbekovich, Candidate of Technical Sciences, associate Professor of the field of training «Transport Engineering», School of Transport Engineering and Logistics named after M. Tynyshpaeva, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: alpeisov73@mail.ru

Аскарар Бахтияр Шарапиденович, PhD, Жол-көлік факультетінің деканы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: bahtiyar_askarov@mail.ru

Аубакирова Назира Курмангажикызы, техника ғылымдарының магистрі, докторант, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Satpayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ms.n.a.k@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5272-6697>

Абишкенов Максат Жарылгасынович, PhD, аға оқытушы, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: maks91.kz@inbox.ru

Айнабекова Сауле Серикбаевна, PhD, Қарағанды индустриалдық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: asaules@mail.ru

Аубакиров Алмат Муканович, магистр, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: almat.aubakirov@list.ru

Аскарар Бахтияр Шарапиденович, доктор PhD, декан Транспортно-дорожного факультета, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: bahtiyar_askarov@mail.ru

Аубакирова Назира Курмангажикызы, магистр технических наук, докторант, кафедра «Технологические машины и транспорт», Satpayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: ms.n.a.k@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5272-6697>

Абишкенов Максат Жарылгасынович, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: maks91.kz@inbox.ru

Айнабекова Сауле Серикбаевна, PhD, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: asaules@mail.ru

Аубакиров Алмат Муканович, ст. преподаватель, магистр, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: almat.aubakirov@list.ru

Аскарар Бахтияр Шарапиденович, PhD, Dean of the Faculty of Transport and Highways, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: bahtiyar_askarov@mail.ru

Аубакирова Назира, Master of Technical Sciences, Doctoral student, Department «Technological Machines and Transport», Satpayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ms.n.a.k@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5272-6697>

Абишкенов Махат Жарылгасынович, PhD, Senior Lecturer, Department of Technological Machines and Transport, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: maks91.kz@inbox.ru

Айнабекова Сауле, PhD, Karaganda industrial university, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: asaules@mail.ru

Аубакиров Алмат Муканович, Senior Lecturer, Master's degree Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan e-mail: almat.aubakirov@list.ru

Ахметова Гульжасанат Есенжоловна, PhD, қауымд. профессор, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: agulzhajnat@bk.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

Әбілжанұлы Тоқтар, техника ғылымдарының докторы, профессор, Жауапкершілігі шектеулі серіктестік «Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы», «Азықты жасау және дайындау процестерін механикаландыру» зертханасының меңгерушісі, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru

Бузауова Тоты Мейрбековна, профессор м.а., техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: toty_77@mail.ru

Ахметова Гульжанат Есенжоловна, PhD, асоц. профессор, кафедра «Металлургия и материаловедения», Карагандинский индустриальный университет г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: agulzhajnat@bk.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

Абилжанұлы Токтар, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Механизация процессов заготовки и приготовления кормов», Товарищество с ограниченной ответственностью «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru

Бузауова Тоты Мейрбековна, и.о. профессора, кандидат технических наук, асоц. профессор, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: toty_77@mail.ru

Ахметова Гульжанат Есенжоловна, PhD, associate professor, Department of Metallurgy and Materials Science, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: agulzhajnat@bk.ru

Ашкеев Жасулан Аманжолович, 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

Абилжанұлы Токтар, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the laboratory «Mechanization of processes of procurement and preparation of feed», Limited Liability Partnership, «Research and Production Center of Agroengineering», Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru

Бузауова Тоты Мейрбековна, Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: toty_77@mail.ru

Байбеков Шыңғыс Сейітмұратұлы, «Металлургия» мамандығы бойынша докторант, Машина жасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru

Балабаев Оюм Темірғалиевич, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Өнеркәсіптік көлік кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: balabaev.ot@mail.ru

Барзов Александр Александрович, жетекші ғылыми қызметкер, техника ғылымдарының докторы, профессор, М. В. Ломоносов атындағы ММУ физика факультеті, Мәскеу қ., 119991, Ресей Федерациясы, e-mail: a.a.barzov@gmail.com

Басқанбаева Динара Жұмабайқызы, PhD, Satbayev University, Энергетика және машина жасау институтының директорының орынбасары, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: b.beisenov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Байбеков Шыңғыс Сейітмұратұлы, докторант по специальности «Металлургия», Факультет машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru

Балабаев Оюм Темірғалиевич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Промышленный транспорт», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: balabaev.ot@mail.ru

Барзов Александр Александрович, ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, профессор, Физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, 119991, Российская Федерация, e-mail: a.a.barzov@gmail.com

Басқанбаева Динара Джумабаевна, PhD, заместитель директора Института энергетика и машиностроения, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Байбеков Шыңғыс Сейітмұратұлы, doctoral student in «Metallurgy», Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: shyngys.baybekov@mail.ru

Balabayev Oyum Temirgalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of «Industrial Transport», Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: balabaev.ot@mail.ru

Barzov Alexander Alexandrovich, Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation, e-mail: a.a.barzov@gmail.com

Baskanbayeva Dinara Dzhumabaевна, PhD, Deputy Director of the Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering of Satbayev University Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Бейсембаев Диас Мадатович, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, Жол-көлік факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: Diasb113@mail.ru

Букаева Амина Захаровна, қауымд. профессор м.а., Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: amina.bukayeva@yu.edu.kz

Быков Петр Олегович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Bykov_petr@mail.ru

Гуляренко Александр Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, доцент, «Стандарттау, метрология және сертификаттау» кафедрасы, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Z05M6G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulyarenko@mail.ru

Егоров Владимир Николаевич, студент, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

Бейсембаев Диас Мадатович, докторант по образовательной программе «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-дорожный факультет, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: Diasb113@mail.ru

Букаева Амина Захаровна, и.о.ассоц.профессора, Есенов университет, факультет Инжиниринга, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: amina.bukayeva@yu.edu.kz

Быков Петр Олегович, кандидат технических наук, профессор, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Bykov_petr@mail.ru

Гуляренко Александр Александрович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, доцент, кафедра «Стандартизация, метрология и сертификация», Казахский агротехнический иследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, г. Астана, Z05M6G3, Республика Казахстан, e-mail: gulyarenko@mail.ru

Егоров Владимир Николаевич, студент, кафедра «Транспортная техника и логистика», факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

Beisembayev Dias Madatovich, doctoral student in the educational program «Transport, transport equipment and technology», Faculty of Transport and Roads, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: Diasb113@mail.ru

Bukayeva Amina Zakharovna, Acting associate professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: amina.bukayeva@yu.edu.kz

Bykov Petr Olegovich, candidate of technical sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Bykov_petr@mail.ru

Gulyarenko Alexander Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences PhD, Associate Professor, Docent, Department standardization, metrology and certification, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical research University, Astana, Z05M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulyarenko@mail.ru

Egorov Vladimir Nikolaevich, student, Department of Transport Engineering and Logistics, Faculty of Engineering, Toraihyrov university, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Елемесов Қасым Көптілеуұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, директоры, Satbayev University, Энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Даньярова Асия Саматовна, 8 D 0 7 1 1 3 «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» ББ бойынша оқитын докторант, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: d_b@bk.ru

Даруеш Галамат Султанбекұлы, PhD, аға оқытушы, Metallurgy және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: galamat3196@gmail.com

Джаксымбетова Макпал Адликановна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Стандарттау, сертификация және метрология» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dzhaksymbetov@list.ru

Елемесов Қасым Көптілеуевич, кандидат технических наук, профессор, директор, Satbayev University, Институт энергетики и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Даньярова Асия Саматовна, докторант обучающийся по ОП 8D07113 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: d_b@bk.ru

Даруеш Галамат Султанбекұлы, PhD, ст.преподаватель, кафедра Metallurgy и обогащение полезных ископаемых, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: galamat3196@gmail.com

Джаксымбетова Макпал Адликановна, магистр технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Стандартизация, сертификация и метрология», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: dzhaksymbetov@list.ru

Yelemessov Kassym, PhD, professor, director, Satbayev University, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.yelemessov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Danyarova Asiya Samatovna, doctoral student studying in EP 8D07113 «Transport, Transport Equipment and Technologies», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: d_b@bk.ru

Daruesh Galamat Sultanbekuly, PhD, Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: galamat3196@gmail.com

Jaxymbetova Makpal Adlikanovna, Master of Technical Sciences, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dzhaksymbetov@list.ru

Досмухамедов Нурлан Калиевич, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Metallurgy және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurdos@bk.ru

Жандарбекова Асель Мергазиновна, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Azhandarbekova@bk.ru

Жолдубаева Жумагуль Дюсенбаевна, PhD, доцент, Машинажасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhuma-77@mail.ru

Жунусов Аблай Қаиртасұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhunusov_ab@mail.ru

Жарылқасов Бахтияр Жұмалыұлы, ғылым магистрі, аға оқытушы, «Физика, математика және цифрлық технологиялар» кафедрасы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bakhtiyarzbj@gmail.com

Досмухамедов Нурлан Калиевич, кандидат технических наук, профессор, кафедра Metallurgy и обогащение полезных ископаемых, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: nurdos@bk.ru

Жандарбекова Асель Мергазиновна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Azhandarbekova@bk.ru

Жолдубаева Жумагуль Дюсенбаевна, PhD, доцент, Факультет машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: zhuma-77@mail.ru

Жунусов Аблай Қаиртасович, кандидат технических наук, профессор, Факультет Инженерии, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zhunusov_ab@mail.ru

Жарлықасов Бахтияр Жұмалиевич, магистр естественных наук, ст. преподаватель, кафедра «Физики, математики и цифровых технологий», Костанайский областной университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: bakhtiyarzbj@gmail.com

Dosmukhamedov Nurlan Kalievich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Professor, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurdos@bk.ru

Zhandarbekova Aysel Mergazinovna, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after. S. Seifullina, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Azhandarbekova@bk.ru

Zholdubaeva Zhumagul Diusenbaevna, PhD, Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhuma-77@mail.ru

Zhunusov Ablay Kairtasovich, candidate of technical sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhunusov_ab@mail.ru

Zharlykassov Bakhtiyar Zhumalyevich, Master of Science, Senior Lecturer, Department of «Physics, Mathematics and Digital Technologies», A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bakhtiyarzbj@gmail.com

Жолдасбай Ержан Есенбайұлы, PhD, жетекші ғылыми қызметкері, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhte@mail.ru

Жукеев Азамат Айтпаевич, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессорының м. а., Ахмет Байтұрсынұв атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: a_zhikeev@mail.ru

Жүнісқалиев Талгат Тоқашұлы, PhD, аға оқытушы, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: talgat.zhuniskaliyev@mail.ru

Зарипов Рамис Юрисович, оқытушы, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ramis.zaripov@mail.ru

Забиева Алия Батырбековна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» кафедрасы, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы

Жолдасбай Ержан Есенбайұлы, PhD, Ведущий научный сотрудник, кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University, Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: zhte@mail.ru

Жукеев Азамат Айтпаевич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Костанайский областной университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: a_zhikeev@mail.ru

Жүнісқалиев Талгат Тоқашұлы, ст. преподаватель, кафедра «Металлургия и материаловедение», PhD, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: talgat.zhuniskaliyev@mail.ru

Зарипов Рамис Юрисович, преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: ramis.zaripov@mail.ru

Забиева Алия Батырбековна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

Zholdasbay Yerzhan Yesenbayuly, PhD, Leading Researcher, Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhte@mail.ru, 87074128979

Zhikeev Azamat Aitpaevich, candidate of Technical Sciences, acting associate professor of Kostanay regional university named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a_zhikeev@mail.ru

Zhuniskaliyev Talgat, PhD, Senior Lecturer, Department of «Metallurgy and Materials Science», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: talgat.zhuniskaliyev@mail.ru

Zaripov Ramis Yurisovich, Lecturer, Department of Transport Engineering and Logistics, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ramis.zaripov@mail.ru

Zabiyeva Aliya Batyrbekovna, Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, Department «Transport, Transport Equipment and Technologies», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan

Ибрагимова Зауре Асилбековна, PhD, доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zaure_1983_as@mail.ru

Игнатъев Михаил Сергеевич, Патент бөлімінің басшысы, Физика факультеті, М. В. Ломоносов атындағы ММУ, Мәскеу қ., 119991, Ресей Федерациясы, e-mail: okbto@yandex.ru

Изембаева Акбота Калмаганбетовна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Көлік техникасы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасы, Автомобиль-жол факультеті, Л. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты БМ, Алматы қ., 050061, Қазақстан Республикасы, e-mail: akbota.izembaeva@mail.ru

Искаков Руслан Маратбекұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, доцент, профессор м. а., «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасы, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Z05M6G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

Ибрагимова Зауре Асилбековна, PhD, доцент, Факультет «Механика и нефтегазовое дело», ЮКУ имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: zaure_1983_as@mail.ru

Игнатъев Михаил Сергеевич, Руководитель патентного отдела, Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, 119991, Российская Федерация, e-mail: okbto@yandex.ru

Изембаева Акбота Калмаганбетовна, магистр технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и организация перевозок», Автомобильно-дорожный факультет, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л. Б. Гончарова, г. Алматы, 050061, Республика Казахстан, e-mail: akbota.izembaeva@mail.ru

Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, доцент, и. о. профессора, кафедра «Технологические машины и оборудование», Казахский агротехнический иследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, г. Астана, Z05M6G3, Республика Казахстан, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

Ibragimova Zaure Assilbekovna, PhD, Associate Professor, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, 160000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zaure_1983_as@mail.ru

Ignatiev Mikhail Sergeevich, Head of the Patent Department, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation, e-mail: okbto@yandex.ru

Izembaeva Akbota Kalmaganbetovna, Master of Technical Science, Senior Lecturer, Department of «Transport technique and transportation organization» Faculty of Automobile and Road, Almaty, 050061, Republic of Kazakhstan, e-mail: akbota.izembaeva@mail.ru

Iskakov Ruslan Maratbekovich, Candidate of Technical Sciences, PhD, Associate Professor, docent, Acting Professor, Department of Technological Machines and Equipment, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical research University, Astana, Z05M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

К а б а ш е в А с х а т Рахимжанович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Көлік техникасы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасы, Автомобиль-жол факультеті, «Л.Б.Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты» БМ, Алматы қ., 050061, Қазақстан Республикасы, e-mail: askarkabashev@gmail.com

К а б а ш е в а М е р е й Рахимжановна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Көлік техникасы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасы, Автомобиль-жол факультеті, «Л.Б.Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты» БМ, Алматы қ., 050061, Қазақстан Республикасы, e-mail: mirey7@yandex.ru

К а б б а с о в Б а к д а у л е т Дюсембынович, арнайы пәндер оқытушысы, Жоғары электроника және коммуникациялар колледжі, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kabbakdaulet@gmail.com

К о т о в Е в г е н и й С е р г е е в и ч, PhD, Энергетика, автоматика және телебайланыс факультеті, Абылкас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: kotov1988@mail.ru

К а б а ш е в А с х а т Рахимжанович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Транспортная техника и организация перевозок», Автомобильно-дорожный факультет, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова, г. Алматы, 050061, Республика Казахстан, e-mail: askarkabashev@gmail.com

К а б а ш е в а М е р е й Рахимжановна, андидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Транспортная техника и организация перевозок», Автомобильно-дорожный факультет, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б.Гончарова, г. Алматы, 050061, Республика Казахстан, e-mail: mirey7@yandex.ru

К а б б а с о в Б а к д а у л е т Дюсембынович, преподаватель специальных дисциплин, Высший колледж электроники и коммуникации, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: kabbakdaulet@gmail.com

К о т о в Е в г е н и й С е р г е е в и ч, PhD, Факультет энергетика, автоматика и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: kotov1988@mail.ru

К а б а ш е в А с х а т Рахимжанович, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Transport technique and transportation organization», Faculty of Automobile and Road, Kazakh Automobile and Road Institute named after L. B. Goncharova, Almaty, 050061, Republic of Kazakhstan, e-mail: askarkabashev@gmail.com

К а б а ш е в М и р е й Рахимжановна, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Transport technique and transportation organization», Faculty of Automobile and Road, Kazakh Automobile and Road Institute named after L. B. Goncharova, Almaty, 050061, Republic of Kazakhstan, e-mail: mirey7@yandex.ru

К а б б а с о в Б а к д а у л е т Дюсембынович, Teacher of special disciplines, Higher College of Electronics and Communication, Toraighyrov university, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kabbakdaulet@gmail.com

К о т о в Е в г е н и й С е р г е е в и ч, PhD, Faculty of Energy, Computer Science and Telecommunications, Abylka Saginov Karaganda technical university, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: kotov1988@mail.ru

Қуандықов Алмаз Болатович, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: azeka200892@mail.ru

Куликов Виталий Юрьевич, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Машинажасау факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: mlpikm@mail.ru

Кульчицкий Алексей Рэмович, техника ғылымдарының докторы, доцент, аға ғылыми қызметкер, «Камешково механикалық зауыты» АҚ, Камешково қ., Ресей Федерациясы, e-mail: ark6975@mail.ru

Қасымжанова Айдана Дөненбайқызы, PhD, Өнеркәсіптік көлік кафедрасының меңгерушісі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: aidana_dak@mail.ru

Қоқан Индира Қанатқызы, оқытушы (ассистент), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140001, Қазақстан Республикасы, e-mail: kik_indira@bk.ru

Қуандықов Алмаз Болатович, Старший преподаватель, Факультет Инженерии, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: azeka200892@mail.ru

Куликов Виталий Юрьевич, кандидат технических наук, профессор, Факультет машиностроение, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: mlpikm@mail.ru

Кульчицкий Алексей Рэмович, Доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник, АО «Камешковский механический завод», г. Камешково, Российская Федерация, e-mail: ark6975@mail.ru

Қасымжанова Айдана Дөненбайқызы, PhD, заведующий кафедрой Промышленный транспорт, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: aidana_dak@mail.ru

Қоқан Индира Қанатқызы, преподаватель, (ассистент), Торайғыров университет, г. Павлодар, 140001, Республика Казахстан, e-mail: kik_indira@bk.ru

Kuandykov Almaz Bolatovich, Senior Teacher, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: azeka200892@mail.ru

Kulikov Vitalii Iurevich, Candidate of technical sciences, professor, Faculty of Mechanical Engineering, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: mlpikm@mail.ru

Kulchitskiy Alexey Ramovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, JSC «Kameshkovo Mechanical Plant», Kameshkovo, Russian Federation, e-mail: ark6975@mail.ru

Kassymzhanova Aidana Dönenbaykyzy, PhD, Head of the Department of Industrial Transport, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: aidana_dak@mail.ru

Kozhan Indira, Lecturer (Assistant), Toraighyrov university, Pavlodar, 140001, Republic of Kazakhstan, e-mail: kik_indira@bk.ru

Казан Бензешик, PhD, ғылыми қызметкер, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Ыстамбұл техникалық университеті, Ыстамбұл қ., 101400, Түркия, e-mail: benzesik@itu.edu.tr

Казан Бензешик, PhD, научный сотрудник, кафедра «Металлургии и материаловедения», Стамбульский технический университет, г. Стамбул, 101400, Турция, e-mail: benzesik@itu.edu.tr

Kagan Benzesik, PhD, Researcher at, Department of «Metallurgy and Materials Science», Istanbul Technical University, Istanbul, 101400, Türkiye, e-mail: benzesik@itu.edu.tr

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович, техника ғылымдарының докторы, бас сарапшы, ERG Capital Projects Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: altay_recenrc@yandex.kz

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович, доктор технических наук, главный эксперт, ERG Capital Projects, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: altay_recenrc@yandex.kz

Kaliakparov Altai Gindullinovich, Doctor of Technical Sciences, Chief Expert, ERG Capital Projects, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan e-mail: altay_recenrc@yandex.kz

Камаров Аман Уахитович, докторант, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: kamarov_aman@mail.ru

Камаров Аман Уахитович, докторант, кафедра «Технологические машины и транспорт», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: kamarov_aman@mail.ru

Kamarov Aman Uakhitovich, Doctoral student, Department of «Technological Machines and Transport», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: kamarov_aman@mail.ru

Касенов Асылбек Жумабекович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Касенов Асылбек Жумабекович, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Kasenov Asylbek Zhumabekovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Кенесбек Инкара Бауржановна, 8D07113 «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» ББ бойынша оқитын докторант, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы,

Кенесбек Инкара Бауржановна, докторант обучающийся по ОП 8D07113 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-энергитический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

Kenesbek Inkara Baurzhanovna, doctoral student studying in EP 8D07113 «Transport, Transport Equipment and Technologies», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan

Кузьминова Надежда Юрьевна, техника және технология магистрі, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: nadeyak@gmail.com

Кузьминова Надежда Юрьевна, магистр техники и технологии, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: nadeyak@gmail.com

Kuzminova Nadezhda, Master of Engineering and Technology, Karaganda industrial university, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: nadeyak@gmail.com

Қойшина Гүлзада Мынғышқызы, PhD, қауымд. профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulzada.koishina@mail.ru

Қойшина Гүлзада Мынғышқызы, PhD, асоц. профессор, кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: gulzada.koishina@mail.ru

Koishina Gulzada Myngyshkyzy, Associate Professor, Department of Metallurgy and Mineral Processing, PhD, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulzada.koishina@mail.ru

Лащ Константин Владимирович, механик, ЖШС «Классик-Б», Қарағанды қ., 100004, Қазақстан Республикасы, e-mail: lasch71@mail.ru

Лащ Константин Владимирович, механик, ТОО «Классик-Б», г. Караганда, 100004, Республика Казахстан, e-mail: lasch71@mail.ru

Lasch Konstantin Vladimirovich, mechanic, «Classic-B» LLP, Karaganda, 100004, Republic of Kazakhstan, e-mail: lasch71@mail.ru

Луб Татьяна Леонидовна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: lub_tou_mis@mail.ru

Луб Татьяна Леонидовна, магистр технических наук, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: lub_tou_mis@mail.ru

Lub Tatyana Leonidovna, Master of Technical Sciences, Senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: lub_tou_mis@mail.ru

Мамбеталиева Гулсара Сапиевна, профессор ассистенті, Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulsara.mambetalieva@yu.edu.kz

Мамбеталиева Гулсара Сапиевна, ассистент профессора, факультет Инжиниринга, Есенов университет, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: gulsara.mambetalieva@yu.edu.kz

Mambetalieva Gulsara Sapiyevna, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulsara.mambetalieva@yu.edu.kz

Мамекова Сандугаш Курманалывна, аға оқытушы, «Ақпараттық технологиялар және Энергетика» жоғары мектебі, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Smamekova_@.mail.ru

Мамекова Сандугаш Курманалывна, ст. преподаватель, Факультет «Информационные технологии и Энергетика», ЮКУ имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: Smamekova_@.mail.ru

Mamekova Sandugash Kurmanalyevna, Senior Lecturer Faculty of «Information Technology and Energy», М. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, 160000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Smamekova_@.mail.ru

Менеилюк Александр Иванович, техника ғылымдарының докторы, «Құрылыс өндірісінің технологиясы», кафедрасының меңгерушісі, Одесса мемлекеттік Құрылыс және Сәулет академиясы, Одесса қ., 65029, Украина, e-mail: mencilyk@gmail.com

Мурзабекова Кенжегуль Абсұлтановна, техника ғылымдарының кандидаты қауымд. профессор, Менеджмент мектебі, БҰ «Алматы менеджмент университеті», Алматы қ., 50060, Қазақстан Республикасы, e-mail: mkaken@mail.ru

Мурзахметова Ұлбала Аскарбековқызы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Көлік техникасы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасы, Автомобиль-жол факультеті, «Л.Б.Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты БМ, Алматы қ., 050061, Қазақстан Республикасы, e-mail: u_murzakhmetova@mail.ru

Мухтаров Абилхас Капизович, химия ғылымдарының кандидаты, «Биотехнология және микробиология» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008 Қазақстан; e-mail: Abillkhas@mail.ru

Менеилюк Александр Иванович, доктор технических наук, Заведующий кафедрой «Технология строительного производства», Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, 65029, Украина, e-mail: mencilyk@gmail.com

Мурзабекова Кенжегуль Абсұлтановна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Школа менеджмента, УО «Алматы менеджмент университет», г. Алматы, 50060, Республика Казахстан, e-mail: mkaken@mail.ru

Мурзахметова Ульбала Аскарбековна, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Транспортная техника и организация перевозок», Автомобильно-дорожный факультет, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л. Б. Гончарова, г. Алматы, 050061, Республика Казахстан, e-mail: u_murzakhmetova@mail.ru

Мухтаров Абилхас Капизович, кандидат химических наук, кафедра «Биотехнология и микробиология», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: Abillkhas@mail.ru

Menelylyuk Alexander, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of «Technology of construction production», Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa, 65029, Ukraine, e-mail: mencilyk@gmail.com

Murzabekova Kenzhegul Absultanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, School of Management, Almaty Management University, Almaty, 50060, Republic of Kazakhstan, e-mail: mkaken@mail.ru

Murzakhmetova Ulbala Askarbekovna, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Transport technique and transportation organization», Faculty of Automobile and Road, Kazakh Automobile and Road Institute named after L. B. Goncharova, Almaty, 050061, Republic of Kazakhstan, e-mail: u_murzakhmetova@mail.ru

Mukhtarov Abilkhass Kapizovich, candidate of Chemical Sciences, Department of Biotechnology and Microbiology, L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Abillkhas@mail.ru

Мұқанов Руслан Батырбекулы, PhD, қауымд. профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: r.mukanov@satbayev.university

Мұсагул Оразалы Боранбайұлы, техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: orazali-71@mail.ru

Мырзақұлов Мақсат Кендебайұлы, Satpayev University, Энергетика және машина жасау институтының директорының орынбасары Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.myrzakulov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-3262-6249>

Мырзалиев Дархан Сапарбаевич, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, М. Әуезов атындағы ОҚУ, 160000, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: darkhan-m7@mail.ru

Махмудов Лutfиддин Насимович, аға оқытушы, «Машина жасау технологиясы» кафедрасы, Науайы мемлекеттік тау-кен және технологиялар университеті, Науайы қ., 210100, Өзбекістан Республикасы, e-mail: lmn_76@mail.ru

Муканов Руслан Батырбекович, PhD, ассоц. профессор, Институт энергетики и машиностроения КазННТУ имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: r.mukanov@satbayev.university

Мусагул Оразалы Боранбайұлы, магистр технических наук, Карагандинский, технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: orazali-71@mail.ru

Мырзакулов Максат Кендебаевич, заместитель директора Института энергетики и машиностроения, Satpayev University г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: m.myrzakulov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-3262-6249>

Мырзалиев Дархан Сапарбаевич, кандидат технических наук, доцент, Факультет «Механика и нефтегазовое дело», ЮКУ имени М. Ауэзова, 160000, г. Шымкент, Республика Казахстан, e-mail: darkhan-m7@mail.ru

Махмудов Лutfиддин Насимович, ст. преподаватель, кафедра «Технология машиностроения», Навоийский государственный горно-технологический университет, г. Навои, 210100, Республика Узбекистан, e-mail: lmn_76@mail.ru

Mukanov Ruslan Batyrbekovich, PhD, Associate Professor, Institute of Energy and Mechanical Engineering of K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: r.mukanov@satbayev.university

Musagul Orazaly Boranbaiuly, Master of Technical Sciences, Abylkaas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: orazali-71@mail.ru

Myrzakulov Maxat, Deputy Director of the Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering of Satbayev University Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.myrzakulov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-3262-6249>

Myrzaliyev Darkhan Saparbeyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, M. Auezov South Kazakhstan University, 160000, Shymkent, Republic of Kazakhstan, e-mail: darkhan-m7@mail.ru

Makhmudov Lutfiddin Nasimovich, senior lecturer, Department of «Mechanical Engineering Technology», Navoi State Mining and Technology University, Navoi, 210100, Republic of Uzbekistan, e-mail: lmn_76@mail.ru

Мусина Жанара Керейовна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: mussina_zhanara@mail.ru

Мусина Лейла Рафаиловна, техника ғылымдарының магистрі, оқытушы, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: lulu991208@gmail.com

Мыңжасар Есмұрат Амангалиұлы, докторант, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: ye.myngzhassar@gmail.com

Нуралиев Әділет Арманұлы, 1-ші курс магистратура студенті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: adlnur2017@gmail.com

Ногаяев 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

Мусина Жанара Керейовна, кандидат технических наук, профессор, Торайғыров университет, Факультет инженерии, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: mussina_zhanara@mail.ru

Мусина Лейла Рафаиловна, магистр технических наук, преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: lulu991208@gmail.com

Мыңжасар Есмұрат Амангалиұлы, докторант, кафедра «Металлургия и материаловедение», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: ye.myngzhassar@gmail.com

Нуралиев Адилет Арманович, студент магистратуры I курса, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: adlnur2017@gmail.com

Ногаяев 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

Mussina Zhanara Kereyovna, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: mussina_zhanara@mail.ru

Mussina Leila Rafailovna, master of Technical Sciences, lecturer, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: lulu991208@gmail.com

Myngzhasar Esmurat, Doctoral student, Department of «Metallurgy and Materials Science», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: ye.myngzhassar@gmail.com

Nuraliev Adilet Armanovich, 1st year Master's degree student, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: adlnur2017@gmail.com

Nogayev 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

Нурмғалиев Асылбек Хабдашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: as_nurum@mail.ru

Өтеген Дархан Айтжанұлы, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» бағдарламасы бойынша магистратураның 2-курс студенті, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлік-технологиялық институт, Қызылорда қ., 120000, Қазақстан Республикасы, e-mail: darkhan.otegeen@alumni.nu.edu.kz

Павлюк Владислав Игоревич, студент, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

Поветкин Виталий Васильевич, профессор, Физика-техникалық факультеті, Фараби университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: vitaly.povetkin@kaznu.kz

Нурмғалиев Асылбек Хабдашевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Металлургия и материаловедение», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: as_nurum@mail.ru

Өтеген Дархан Айтжанұлы, студент 2 курса магистратуры по программе «Технологические машины и оборудование», Кызылординский университет имени Коркыт ата, Инженерно-Технологический институт, г. Кызылорда, 120000, Республика Казахстан, e-mail: darkhan.otegeen@alumni.nu.edu.kz

Павлюк Владислав Игоревич, студент, кафедра «Транспортная техника и логистика», факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

Поветкин Виталий Васильевич, профессор, факультет Физико-технический, Фараби университет, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: vitaly.povetkin@kaznu.kz

Nurumgaliyev Assylbek, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Metallurgy and Materials Science», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Kazakhstan of Republic, e-mail: as_nurum@mail.ru

Otegen Darkhan Aitghanuly, 2nd year student of the master's program «technological machines and equipment», Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Engineering and Technological Institute, Kyzylorda, 120000, Republic of Kazakhstan, e-mail: darkhan.otegeen@alumni.nu.edu.kz

Pavlyuk Vladislav Igorevich, student, Department of Transport Engineering and Logistics, Faculty of Engineering, Toraigyrov university, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Povetkin Vitaly Vasilyevich, Professor, Faculty of Physical and technical, Farabi University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: vitaly.povetkin@kaznu.kz

Ремшев Евгений Юрьевич, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары оқу орны «Материалды зерттеу орталығы» ортақ пайдалану орталығының басшысы, «Д. Ф. Устинов атындағы Балтық мемлекеттік техникалық университеті, (доцент), Санкт-Петербург қ., 190005, Ресей Федерациясы, e-mail: Remshev@mail.ru

Рзаева Камар Сисеновна, профессор ассистенті, Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Актау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kamar.rzayeva@yu.edu.kz

Рожков Александр Владимирович, техника ғылымдарының кандидаты, доценттің м.а., «Өнеркәсіптік көлік» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexktpm@mail.ru

Сарсенғалиева Гүлзада Қайратқызы, магистрант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulzada0101@mail.ru

Ремшев Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, руководитель центра коллективного пользования «Центр исследования материалов» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет имени Д. Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург, 190005, Российская Федерация, e-mail: Remshev@mail.ru

Рзаева Камар Сисеновна, ассистент профессора, факультет Инжиниринга, Есенов университет, г. Актау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: kamar.rzayeva@yu.edu.kz

Рожков Александр Владимирович, кандидат технических наук, и.о. доцента, кафедра «Промышленный транспорт, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: alexktpm@mail.ru

Сарсенғалиева Гүлзада Қайратовна, магистрант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: gulzada0101@mail.ru

Remshev Evgeniy Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the collective use center «Materials Research Center», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education named after D. F. Ustinova, St. Petersburg, 190005, Russian Federation, e-mail: Remshev@mail.ru

Rzayeva Kamar Sisenovna, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kamar.rzayeva@yu.edu.kz

Rozhkov Alexander Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, acting Associate Professor, Department of «Industrial Transport», Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexktpm@mail.ru

Sarsengaliyeva Gulzada Kairatqyzy, master's student, Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulzada0101@mail.ru

Сарыбаев Ержан Ергалыұлы, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Технологиялық машиналар және жабдыктар кафедрасы, Satpayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: y.sarybayev@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6665-4558>

Сеина Яна Дмитриевна, магистр, Н. Э. Бауман атындағы ММТУ, Мәскеу қ., 105005, Ресей Федерациясы, e-mail: yaseina@yandex.ru

Сүйіндіков Мерхат Мәдениұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Факультет Инженерии, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: suyundikovm@mail.ru

Сүлейменов Нұржан Сұлтанұлы, техника ғылымдарының кандидаты, Білім беру бағдарламасының жетекшісі, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлік-технологиялық институт, Қызылорда қ., 120000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru

Сазамбаева Баян Токушевна, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» кафедрасы, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы

Сарыбаев Ержан Ергалыевич, магистр технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Технологические машины и оборудование», Satpayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: y.sarybayev@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6665-4558>

Сеина Яна Дмитриевна, магистр, МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Москва, 105005, Российская Федерация, e-mail: yaseina@yandex.ru

Суюндиков Мерхат Мадениевич, кандидат технических наук, профессор, Факультет Инженерии, Торайгыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: suyundikovm@mail.ru

Сүлейменов Нұржан Сұлтанұлы, кандидат технических наук, руководитель образовательной программы, Кызылординский университет имени Коркыт ата, Инженерно-Технологический институт, г. Кызылорда, 120000, Республика Казахстан, e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru

Сазамбаева Баян Токушевна, доктор технических наук, профессор, кафедра «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

Sarybayev Yerzhan, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Technological Machines and Equipment, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: y.sarybayev@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-6665-4558>

Seina Yana Dmitrievna, Master, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: yaseina@yandex.ru

Suyundikov Merkhat Madeniyevich, candidate of technical sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: suyundikovm@mail.ru

Suleimenov Nurzhan Sultanuly, Candidate of technical sciences, Head of the educational program, Korkyt Ata Kyzylorda University, Engineering and Technological Institute, Kyzylorda, 120000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru

Sazambayeva Bayan Tokushevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Transport, Transport Equipment and Technologies», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan

Табылов Абзал Утеуович, қауымд. профессор м.а., Инжиниринг факультеті, Есенов университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: abzal.tabylov@yu.edu.kz

Таңжарықов Панабек Абсатұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлік-технологиялық институт, Қызылорда қ., 120000, Қазақстан Республикасы, e-mail: pan_19600214@mail.ru

Тюлюбаев Ренат Асылбекович, аға оқытушысы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140001, Қазақстан Республикасы, e-mail: tyulyubaev_92@mail.ru

Усенов Санжар Асанович, 1-ші курс магистратура студенті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: sanzhar.usenov@gmail.com

Тажиев Елеусиз Болатович, PhD, аға оқытушы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: eleusiz_t1990@mail.ru

Теміртас Хамит Бауржанұлы, магистр, оқытушы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: xamit1797@gmail.com

Табылов Абзал Утеуович, и. о. ассоц. профессора, факультет Инжиниринга, Есенов университет, г. Ақтау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: abzal.tabylov@yu.edu.kz

Таңжарықов Панабек Абсатұлы, кандидат технических наук, профессор, Кызылординский университет имени Коркытгата, Инженерно-Технологический институт, г. Кызылорда, 120000, Республика Казахстан, e-mail: pan_19600214@mail.ru

Тюлюбаев Ренат Асылбекович, ст. преподаватель, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140001, Республика Казахстан, e-mail: tyulyubaev_92@mail.ru

Усенов Санжар Асанович, студент магистратуры 1 курса, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: sanzhar.usenov@gmail.com

Тажиев Елеусиз Болатович, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: eleusiz_t1990@mail.ru

Теміртас Хамит Бауржанұлы, магистр, преподаватель, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: xamit1797@gmail.com

Tabylov Abzal Uteuovich, Acting associate professor, Faculty of Engineering, Yessenov University, Aqtau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abzal.tabylov@yu.edu.kz

Tanzharykov Panabek Absatuly, professor, candidate of technical sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Engineering and Technological Institute, Kyzylorda, 120000, Republic of Kazakhstan, e-mail: pan_19600214@mail.ru

Tyulubaev Renat, Senior lecturer, Toraighyrov university, Pavlodar, 140001, Republic of Kazakhstan, e-mail: tyulyubaev_92@mail.ru

Usenov Sanzhar Asanovich, 1st year Master's degree student, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: sanzhar.usenov@gmail.com

Tazhiev Eleusiz Bolatovich, PhD, Senior Lecturer, Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: eleusiz_t1990@mail.ru

Temirtas Khamit Baurzhanuly, Master's degree, Lecturer, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: xamit1797@gmail.com

Тогызбаева Баглан Болсынновна, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» кафедрасы, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы

Толымбекова Лязат Байгабылқызы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ. 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: lyazat-t@mail.ru

Тусунова Саягуль Ораловна, PhD, постдокторант, «Машинажасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000 Қазақстан Республикасы, e-mail: suleeva.s@inbox.ru

Тушиев Таур Русланович, докторант, «Металлургия және материалтану» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: ttushiyev@mail.ru

Уаисова Мира Маликовна, докторант, 3 курс, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ummasya@mail.ru

Тогызбаева Баглан Болсынновна, доктор технических наук, профессор, кафедра «Транспорт, транспортная техника и технологии», Транспортно-энергитический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

Толымбекова Лязат Байгабыловна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: lyazat-t@mail.ru

Тусунова Саягуль Ораловна, PhD, постдокторант, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: suleeva.s@inbox.ru

Тушиев Таур Русланович, докторант, кафедра «Металлургия и материаловедение», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: ttushiyev@mail.ru

Уаисова Мира Маликовна, докторант, 3 курс, Костанайский областной университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: ummasya@mail.ru

Togizbayeva Baglan Bolsynovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Transport, Transport Equipment and Technologies», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan

Tolymbekova Lyazat Baigabylovna, Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: lyazat-t@mail.ru

Tussupova Sayagul Oralovna, PhD, Postdoctoral student, Department of «Mechanical Engineering and Standardization», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: suleeva.s@inbox.ru

Tushiev Tair, Doctoral student, Department of «Metallurgy and Materials Science», Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: ttushiyev@mail.ru

Uaisova Myra Malikovna, doctoral student, 3rd year, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ummasya@mail.ru

Шеров Карибек Тагаевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: shkt1965@mail.ru

Шеров Карибек Тагаевич, доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: 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

Хан Валерий Анатольевич, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасы, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Z05M6G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: montxan@mail.ru

Хан Валерий Анатольевич, кандидат технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Технологические машины и оборудование» Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, г. Астана, Z05M6G3, Республика Казахстан, e-mail: montxan@mail.ru

Khan Valery Anatolyevich, PhD, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, Department of Technological Machinery and Equipment, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical research University, Astana, Z05M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: montxan@mail.ru

Чайкин Владимир Андреевич, техника ғылымдарының докторы, Ресей құюшылар қауымдастығының Смоленск аймақтық филиалы, Сафоново қ., 215805, Ресей Федерациясы, e-mail: info@metallurg-ral.ru

Чайкин Владимир Андреевич, доктор технических наук, Смоленское региональное отделение Российской ассоциации литейщиков, г. Сафоново, 215805, Российская федерация, e-mail: info@metallurg-ral.ru

Chaikin Vladimir Andreevich, doctor of technical science, Smolensk Regional Branch of the Russian Association of Foundry Workers, Safonovo, 215805, Russian Federation, e-mail: info@metallurg-ral.ru

Шарапиден Аида Жумагалыевна, магистратура студенті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140001, Қазақстан Республикасы, e-mail: aida.sharapyden@mail.ru

Шарапиден Аида Жумагалыевна, магистрант, Торайғыров университет, Павлодар, 140001, Республика Казахстан, e-mail: aida.sharapyden@mail.ru

Sharapiden Aida, Master's degree student, Toraighyrov university, Pavlodar, 140001, Republic of Kazakhstan, e-mail: aida.sharapyden@mail.ru

Янюшкин Александр Сергеевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, мүше-корреспондент SAN VS, академик MAN VS, Машина жасау технологиясы кафедрасы, И. Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті, 428000, Ресей Федерациясы, e-mail: yanyushkinas@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: yanyushkinas@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: yanyushkinas@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 с первого номера 2024 года составит 15 000 тенге для направлений металлургия, машиностроение и транспорт, а для остальных направлений 700 тенге за страницу, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

*** Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц печатного текста. Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).**

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество** (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*);

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (*см. образец*);

10 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Кіріспе / Introduction** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (*при наличии*) (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (*жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре*) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (*см. образец*).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются):

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

Информация для авторов

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или 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 с первого номера 2024 года составит 15 000 тенге для направлений металлургия, машиностроение и транспорт, а для остальных направлений 700 тенге за страницу, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на почту: nitk.tou.edu.kz. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

НАО «Торайгыров университет»,

Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: nitk.tou.edu.kz.

Наши реквизиты:

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspі.kz Платежи – Образование – Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jysan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSEKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ15601024100003308 БИК HSBKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

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

320

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.

321

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelenost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniyu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – T. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300-Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.

10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikayeva

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

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

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented

pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeeva@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_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeeva@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 07.06.24 ж. жіберілді. Басуға 28.06.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4246

«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