

Регистрационный
№ KZ71VPY00092356

ISSN 1561-4212
ISSN 2789-8210 (Online)
№ 3(105), сентябрь, 2024

Ғылыми журнал

Д. Серікбаев атындағы
Шығыс Қазақстан
техникалық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского
технического университета
им. Д. Серикбаева

Научный журнал

BULLETIN

of D. Serikbayev
East Kazakhstan
technical university

Scientific journal



1999 жылдан бастап шығады
Издается с 1999 года
Founded in 1999

—◆—
Жылына 4 рет шығады
Выходит 4 раза в год
Published 4 times a year

Өскемен, 2024
Усть-Каменогорск, 2024
Ust-Kamenogorsk, 2024

Бас редакторы

С.Ж. Рахметуллина

техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор

Редакция алқасы:

Бас редактордың орынбасары:

Н.Ф. Денисова, физика-математика ғылымдарының кандидаты,
Жауапты хатшы – О.Н. Николаенко

Алқа мүшелері:

У.Б. Абдикерова, Dr.PhD (Қазақстан)
Абрахам Атта Огву, профессор (Ұлыбритания)
Д.Л. Алонцева, ф.-м.ғ.к., профессор (Қазақстан)
Бешо Масахико, Dr.PhD, профессор (Жапония)
И.А. Бессмертный, т.ғ.д., профессор (Ресей)
Вальдемар Войчик, т.ғ.д. (Польша)
С.А. Выжва, г.ғ.д., профессор (Украина)
М.В. Дудкин, т.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Н.К. Ердыбаева, ф.-м.ғ.д. (Қазақстан)
В.А. Кескинов, т.ғ.к., доцент (Ресей)
Ю.В. Крак, т.ғ.д., профессор (Украина)
О.Н. Кузмина, Dr.PhD, қауымдастырылған профессор (Қазақстан)
Н.А. Куленова, т.ғ.к., профессор (Қазақстан)
В.И. Логанина, т.ғ.д., профессор (Ресей)
С.В. Мамяченков, т.ғ.д., профессор (Ресей)
Игнасио Менендес Пидаль де Наваскес, профессор (Испания)
М. Млынчак, Dr. hab, профессор (Польша)
А.Д. Погребняк, ф.-м.ғ.д., профессор (Украина)
Н.В. Прохоренкова, Dr.PhD (Қазақстан)
М.Д. Старостенков, ф.-м.ғ.д., (Ресей)
Я. Стрычек, Dr. hab, профессор (Польша)
А.С. Тулебекова (Қазақстан)
С.В. Хромых, г.-м.ғ.д. (Ресей)
Н.А. Чарыков, х.ғ.д., профессор (Ресей)
Ю.Н. Шапошник, т.ғ.д., профессор (Ресей)

© Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан
техникалық университеті, 2024

Главный редактор

С.Ж. Рахметуллина

кандидат технических наук, ассоциированный профессор

Редакционная коллегия:

Заместитель главного редактора:

Н.Ф. Денисова, кандидат физико-математических наук,
Ответственный секретарь – О.Н. Николаенко

Члены коллегии:

У.Б. Абдикерова, Dr.PhD (Казахстан)
Абрахам Атта Огву, профессор (Великобритания)
Д.Л. Алонцева, к.ф-м н., профессор (Казахстан)
Бешо Масахико, Dr.PhD, профессор (Япония)
И.А. Бессмертный, д.т.н., профессор (Россия)
Вальдемар Войчик, д.т.н. (Польша)
С.А. Выжва, д.г.н., профессор (Украина)
М.В. Дудкин, д.т.н., профессор (Казахстан)
Н.К. Ердыбаева, д.ф-м.н. (Казахстан)
В.А. Кескинов, к.т.н., доцент (Россия)
Ю.В. Крак, д.т.н., профессор (Украина)
О.Н. Кузьмина, доктор PhD, асс. профессор (Казахстан)
Н.А. Куленова, к.т.н., профессор (Казахстан)
В.И. Логанина, д.т.н., профессор (Россия)
С.В. Мамяченков, д.т.н., профессор (Россия)
Игнасио Менендес Пидаль де Наваскес, профессор (Испания)
М. Млынчак, Dr. hab, профессор (Польша)
А.Д. Погребняк, д.ф.м.н., профессор (Украина)
Н.В. Прохоренкова, Dr.PhD (Казахстан)
М.Д. Старостенков, д.ф-м.н., (Россия)
Я. Стрычек, Dr. hab, профессор (Польша)
А.С. Тулебекова (Казахстан)
С.В. Хромых, д.г.-м.н. (Россия)
Н.А. Чарыков, д.х.н., профессор (Россия)
Ю.Н. Шапошник, д.т.н., профессор (Россия)

© Восточно-Казахстанский технический
университет им. Д. Серикбаева, 2024

Chief Editor

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor –
S. Rakhmetullina

Editorial Team:

Deputy Chief Editor

Natalya Denissova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Executive Secretary – Oksana Nikolaenko

Members of Team:

Uliya Abdikerova, Dr. PhD (Kazakhstan)
Abraham Atta Ogwu, professor (Great Britain)
Darya Alontseva, Candidate of Phys.-math. sciences, professor (Kazakhstan)
Masahiko Bessho, Dr.PhD, professor (Japan)
Igor Bessmertnyy, Dr. techn. sciences, professor (Russia)
Waldemar Wojcik, Dr. techn. sciences, professor (Poland)
Sergey Vyzhva, Geophysics Dr. geolog. sciences, professor (Ukraine)
Mikhail Dudkin, Dr. techn. sciences, Professor (Kazakhstan)
Nazgul Yerdybayeva, Dr. phys.-math. sciences, professor (Kazakhstan)
Viktor Keskinov, PhD in Chemistry sciences (Russia)
Yuri Krak, Dr. techn. sciences, Professor (Ukraine)
Oxana Kuzmina, Dr.PhD, Assistant professor (Kazakhstan)
Natalya Kulenova, Cand. techn. sciences, Professor (Kazakhstan)
Valentina Loganina, Dr. techn. sciences, Professor (Russia)
Sergey Myamyachenkov, Dr. techn. sciences (Russia)
Ignacio Menéndez-Pidal de Navascués, Professor (Spain)
Marek Mlynček, Dr. hab, professor (Poland)
Aleksandr Pogrebnyak, Dr. phys.-math. sciences, professor (Ukraine)
Nadezhda Prokhorenkova, Dr.PhD (Kazakhstan)
Mikhail Starostenkov, Dr. phys.-math. sciences, professor (Russia)
Jarosław Strycek, Dr. hab, professor (Poland)
Assel Tulebekova (Kazakhstan)
Sergey Khromykh, Dr. geolog.-mineral. sciences (Russia)
Nikolay Charykov, Dr. of Chemistry (Russia)
Yuri Shaposhnik, Dr. techn. sciences, professor (Russia)



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_5
IRSTI 55.57.99

E.A. Asangaliev¹, M.S. Danilov¹, S.S. Lutai¹, D.K. Karmanov², M. Mlynchak³

¹NJSC «East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev»,
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

E-mail: elibek60@mail.ru

E-mail: danilov-ms@yandex.kz

E-mail: sslutai@mail.ru*

²SPCAE, Almaty, Republic of Kazakhstan

E-mail: darhankk85@mail.ru

³Wroclaw Polytechnic University, Wroclaw, Poland

E-mail: marek.mlynchak@pwr.edu.pl

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR SALT-LICKER BRIQUETTES WITH BENTONITE FOR THE PREVENTION OF MINERAL DEFICIENCY IN CATTLE

ІРІ ҚАРА МАЛДАҒЫ МИНЕРАЛДЫ ЖЕТІСПЕУШІЛІКТІҢ АЛДЫН АЛУ ҮШІН БЕНТОНИТПЕН ТҰЗДЫ ЖАЛАУЫШТЫҢ БРИКЕТТЕРІНІҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БРИКЕТОВ СОЛЕЙ-ЛИЗУНЦОВ С БЕНТОНИТОМ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ДЕФИЦИТА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Abstract. Technologies have been developed for the production of salt briquettes with the addition of crushed bentonite for cattle, which are fed to animals during the winter stall period. Bentonites contain a significant amount of macro and microelements, of which the most important in the physiology of the animal body are oxides of iron, calcium, potassium, phosphorus, etc.), briquettes measuring 15x15 cm and 12 cm thick are obtained, which have a yellowish tint. The greatest attraction for cows to lick is observed with lick briquettes containing 10% bentonite. The use of salt briquettes-licks with the addition of bentonite in the specified amount to cows during the winter stall period has a beneficial effect on the body of cows. The animals had less morbidity after calving and subsequently had higher milk production. Calves born from these cows had greater vitality, were less sick, and had higher weight gain.

Keywords: technology, bentonites, salt briquettes, macro and microelements, cattle, productivity.

Аңдатпа. Ірі қара малға арналған ұсақталған бентонит қосылған тұзды жалайтын брикеттерге арналған технологиялар әзірленді, олар қысқы жабық қорадағы маусым кезінде жануарларға беріледі. Бентониттерде макро және микроэлементтердің біршама есептеп енгізілген мөлшері бар, олардың ішінде жануарлар организмінің физиологиясындағы (темір, кальций, калий, фосфор және т.б. оксидтері маңызды болып табылады.), өлшемі 15x15 см және қалыңдығы 12 см болатын сарғыш түстіленген тұзды жалаушы-брикеттер алынады. Ірі қара малға жалаудың ең үлкен тартымдылығы құрамында 10% бентонит бар жалауыш брикеттерімен байқалады. Тұзды брикеттерді-бентонит қосылған жалауыштарды сиырларға қысқы қорадағы маусым кезінде белгіленген мөлшерде қолдану ірі қара малдың ағзасына пайдалы әсер етеді. Төлдегеннен кейін жануарлардың аурушаңдығы азаяды, содан кейін сүт өнімінің өндірісі жоғары деңгейде болады. Осы сауынды сиырлардан туылған бұзаулардың өміршеңдігі жоғары болады, аурулары аз болады және салмағы жоғары болады.

Түйін сөздер: технология, бентониттер, тұзды брикеттер, макро және макроэлементтер, ірі қара малдар, өнімділік.

Аннотация. Были разработаны технологии производства соляных брикетов с добавлением измельченного бентонита для КРС, которые скормливаются животным в зимний стойловый период. Бентониты содержат значительное количество макро- и микроэлементов, из которых наиболее важными в физиологии организма животных являются (оксиды железа, кальция, калия, фосфора и т.д.), получают брикеты размером 15x15 см и толщиной 12 см, которые имеют желтоватый оттенок. Наибольшая привлекательность для КРС лизания наблюдается при использовании брикетов для лизания, содержащих 10% бентонита. Применение солевых брикетов-лизунцов с добавлением бентонита в указанном количестве КРС в зимний стойловый период оказывает благотворное влияние на организм дойных коров. У животных была меньшая заболеваемость после отела и впоследствии более высокая молочная продуктивность. Телята, рожденные от этих коров, отличались большей жизнеспособностью, меньше болели и имели больший прирост веса.

Ключевые слова: технология, бентониты, солевые брикеты, макро- и макроэлементы, крупный рогатый скот, продуктивность.

Introduction. The provision of animal feed and their feeding itself is of decisive importance when keeping cattle, as it must ensure optimal growth and development of the body, reproductive functions, and productivity. A significant role in complete feeding belongs to mineral and vitamin components because there is not a single biochemical process in the animal body in which they do not take part. At the same time, the animal body is closely connected with the geochemical habitat through food chains, as a result of which the accumulation of any mineral elements in the body depends on their content in the soil and, consequently, in feed. Feed is the main source of mineral and vitamin compounds, and quite often the diets of farm animals are not balanced in terms of the latter (Sapargaliev, 2010; Danilov et al., 2016; Khairullin et al., 2023).

The most acceptable way to eliminate the lack of micro and macroelements in the body of cattle is to use lick salt briquettes, into which bentonites and various microelements can be introduced during the manufacturing process.

Salt is an important part of the diet because of its primary importance in the acid-base balance of the body; with its participation, hydrochloric acid is formed, which is responsible for the digestion process of the cow. Salt regulates the water balance in the body, contributing to the timely and normal flow of water into the body cells. The advantage of premixes in the form of licks with salt is also because that cattle the active production of saliva is ensured during the process of licking salt of a certain density. Abundant saliva softens the food already at the stage of its entry into the oral cavity and facilitates its further absorption (Gallo et al., 2010).

The study of the mineral composition of feed for cows in peasant farms in Eastern Kazakhstan indicates an insufficient presence of potassium, iron, copper, and zinc in the hay, silage, straw, and concentrates. Accordingly, the content of these microelements is also reduced in the blood and hair of cows during the dry, new-calving, and lactation periods, which indicates the development of their deficiency in the body (D'yachkov et al., 2009).

In Eastern Kazakhstan, there is a deposit of bentonite clays “Taganskoye”. The latter are finely dispersed clays, mainly minerals of the montmorillonite group and consisting of oxides of silicon, aluminum, iron, calcium, magnesium, potassium, phosphorus, sulfur, and other elements. These natural compounds have high binding capacity, adsorption, and antimicrobial activity (Bosimov et al., 2019; Semenenko, 2008).

Natural bentonites contain various macro and microelements in proportions and combinations that are best absorbed in the gastrointestinal tract, which makes it possible to use them as a biologically active feed additive (Velikanov et al., 2024; Slamova et al., 2011; Kikouama et al., 2009; Wilson, 2003).

Bentonite clays have a positive effect on the growth and development of young farm animals, have high sorption activity against toxins, heavy metal salts, pathogenic microflora, aflatoxins, and intensify metabolic processes in the body. Bentonites increase the productivity and safety of animals and poultry; reduce the number of stillbirths and malnutrition, and the incidence of diseases of the neonatal (colostrum) period. The mechanism of their action is associated with the normalization of the content and ratio of micro and macroelements, maintaining the interaction of all body systems and metabolic processes (Jaynes et al., 2007; Kikouama et al., 2009; Murray, 2000).

In Kazakhstan, due to the peculiarities of local climatic and soil conditions, research on the rational use of vitamins and minerals in cattle to maximize the production of dairy and meat products is important. Cows kept on local farms do not receive sufficient amounts of macro and microelements in their feed, which is due to their low content in the growing grass, which is used to produce hay, silage, and other feed.

Clinical observations and analysis of morbidity in cattle on peasant farms in Eastern Kazakhstan show that cows often show signs of mineral deficiency during the winter stall period. Such cows give birth to weak calves, which subsequently experience delayed growth and development. During the lactation period, cows do not fully utilize their milk production potential.

The purpose of this research is to study the possibility of using salt lick briquettes with the addition of bentonite and missing trace elements to prevent mineral deficiency in cows during the winter stall period.

Materials and methods. Bentonites from the Taganskoe deposit are taken for work. Bentonite is dried in an oven at a temperature of 130-150°C for 1 hour and ground in a vibratory mill to a fine powder. The latter is most applicable for introducing salt briquettes into salt licks.

The chemical composition of zeolites and bentonites is studied on an ICP-MS Agilent 7500 CX inductively coupled plasma mass spectrometer. Structural analysis of the studied compounds is determined using an ISM-6390-LV scanning electron microscope with an energy-dispersive microanalysis system.

Next, salt lick briquettes are produced with bentonite contents of 5, 10 and 20%. To do this, the specified amount of bentonite in powder form is added to the fine-crystalline feed salt. In addition, the following micro and macro elements are added per cow:

- zinc carbonate – 0.46 g;
- copper carbonate - 0.036 g;
- potassium iodide - 0.03 g;
- ferrous sulfate – 0.3 g;

The introduction of these chemical compounds is justified by the fact that the content of potassium, iron, copper, and zinc in the body of cows is reduced, which indicates the development of their deficiency in the body (D'yachkov et al., 2009).

Considering that salt lick briquettes have a technological weight of 5 kg, which is 100 daily doses for cows, the indicated volume of microelements is increased accordingly.

The initial components are mixed and the resulting mixture is pressed into briquettes-licks on a specialized press at a pressure of 120 MPa at the enterprise for the production of salt briquettes-licks IP "Kaliakparov U" (Fig. 1)

After that, at the livestock farm of the Shemonaikha peasant farm in the Shemonaikha district of the East Kazakhstan region, the effect of the developed lick briquettes on cows is studied. In the first stage, observations are made on the attractiveness of lick briquettes with bentonite for cows. For this purpose, lick briquettes with different bentonite contents are placed in the feeding area. Salt lick briquettes are used as a control. At the same time, the activity of the cows' approach to the briquettes and the duration of licking are taken into account.



Figure 1. Press for making salt briquettes-licks

Note – compiled by the author

To study the preventive effect of salt lick briquettes in the conditions of a livestock farm of the specified peasant farm, 46 cows are selected during the winter stall period of 2023, which, physiologically, is at the beginning of the dry period. The animals are divided according to the principle of analogs into 2 groups, 23 heads each. The cows' diet is: hay 8-10 kg, silage 23-25 kg, concentrates 2-3 kg, wheat straw - ad libitum. The animals of the experimental group constantly had salt briquettes-licks with a 10% bentonite content in the feeding area. In the control group, the cows are given salt lick briquettes without bentonite in the feeding area. In both groups, animals had free access to lick briquettes, which they received 2 months before calving (dry period) and 1 month after it.

The animals are clinically observed and the milk production of cows is taken into account for 2 months after calving. The condition of the born calves, which is observed during the first month of life, is also taken into account.

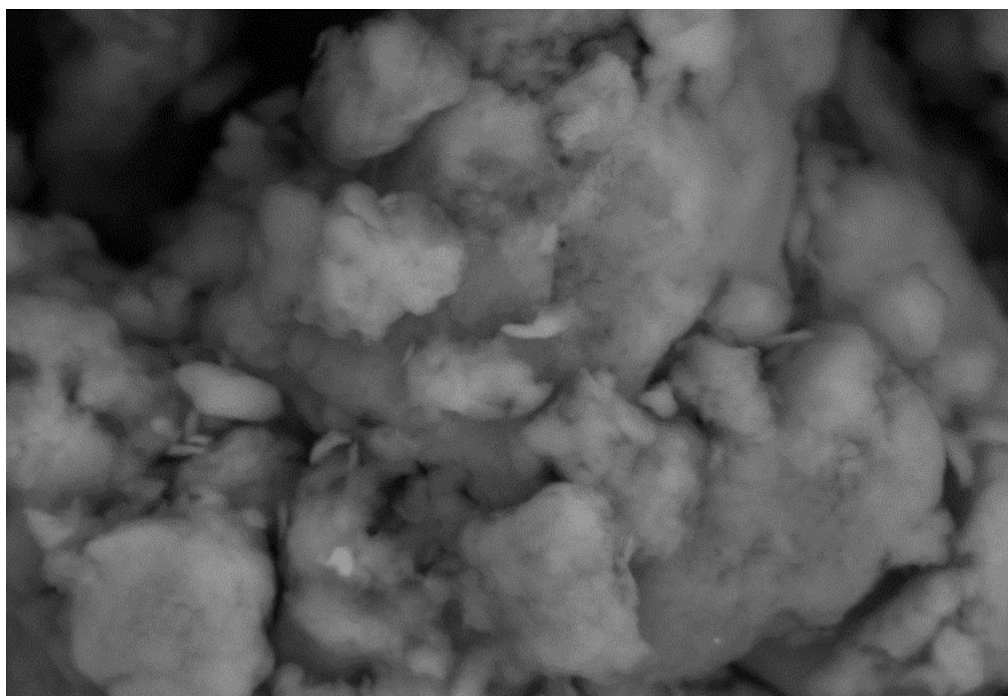
Research results. The research results showed that bentonites contain oxides of various chemical elements (Table 1). The main part is silicon oxide ($62.24 \pm 3.8\%$) and aluminum oxide ($25.36 \pm 3.8\%$). The concentration of oxides of iron, calcium, magnesium, sulfur, sodium, potassium, phosphorus, and manganese is somewhat less. At the same time, these microelements have important physiological significance for the animal body. It should be noted that their presence in bentonites is extremely important, because in the body of cows during the winter stall period, there is an insufficient content of iron, potassium, and several other micro and macroelements.

Table 1. Chemical composition of bentonites from the Taganskoe deposit

| Chemical compounds | Content in bentonites (%) |
|--|---------------------------|
| SiO ₂ silicon oxide (IV) | 62,24±3,8 |
| Al ₂ O ₃ aluminium oxide | 25,36±3,8 |
| Fe ₂ O ₃ iron oxide (III) | 1,92±0,3 |
| CaO calcium oxide | 0,65±0,08 |
| MgO magnesium oxide | 1,84±0,3 |
| SO ₃ sulfur oxide (VI) | 0,11±0,03 |
| Na ₂ O sodium oxide | 2,1±0,4 |
| K ₂ O potassium oxide | 240,78±0,07 |
| P ₂ O ₅ phosphorus oxide (V) | 0,17±0,004 |
| MnO manganese oxide (II) | 0,21±0,04 |
| TiO ₂ titanium oxide (IV) | 0,66±0,07 |
| <i>Note – compiled by the author</i> | |

The most important feature of the studied mineral compounds is their dispersity, which is a determining factor in manufacturability and application.

Electron microscopic examination of crushed bentonite (x3000) showed that it consists of particles ranging in size from 2 to 10 microns, of various shapes. Some large particles exhibit a loose structure (Figure 2).

**Figure 2.** Bentonite from the Taganskoe deposit

Note – compiled by the author

This state of crushed bentonite allows it to be easily mixed with feed salt, form optimal briquettes, and be attractive to cows for licking.

The resulting lick briquettes had dimensions of 15×15 cm and a thickness of 12 cm. The weight of each briquette is 5±0.05 kg. The briquettes had a gray-yellowish tint, which is more pronounced as the bentonite content in the salt increased (Fig. 3).



Figure 3. On the left – mineral salt briquettes-licks containing bentonite.
On the right – salt briquettes-lickers – (control)

Note – compiled by the author

When determining the attractiveness of lick briquettes with bentonite, it is found that the greatest attractiveness is observed in briquettes containing 10% bentonite. Animals approached such briquettes more often and the duration of licking in one approach ranged from 2 to 4 minutes. Cows approached briquettes containing 20% bentonite less frequently and the licking time is shorter. Lick briquettes containing 5% bentonite and salt briquettes had the same attractiveness.

When studying the preventive effect of mineral deficiency of salt lick briquettes, it was found that animals actively licked the lick briquettes throughout the entire observation period. Licking activity increased noticeably in the last month of pregnancy, which may be due to fetal growth and, consequently, a higher need for micro and macroelements by the cow body. No pathological abnormalities in the clinical condition of the animals were noted during the observation period.

After calving, the cows in the experimental group had any postpartum complications, as well as the incidence of metritis and mastitis, which is 2 times less than in the cows in the control group (Table 2). If these diseases occur, appropriate treatment is carried out. The service period in the animals of the experimental group is noticeably shorter than in the animals of the control group. The milk productivity of cows in the experimental group is also slightly higher. The last 2 indicators directly indicate a more productive use of cows.

It should also be noted that calves obtained from cows in the experimental group had a higher average birth weight, were more viable, less sick, and gave greater weight gain.

Table 2. Effect of salt briquettes-licks with bentonite on the body of cows

| Indicators | Group of cows | |
|---|---------------|------------|
| | experienced | control |
| Number of cows | 23 | 23 |
| Complications after childbirth | 2 (8,6%) | 4 (17,4%) |
| Metritis incidence | 2 (8,6%) | 4 (17,4%) |
| Incidence of mastitis | 1 (4,3%) | 3 (13%) |
| Service period (days) | 56±5,4 | 66±6,4 |
| Milk production per day (kg) | 17,8±1,4 | 16,7±1,3 |
| Average weight of calves at birth (kg) | 25,4±1,4 | 23,7±1 |
| Average daily weight gain in calves in the first month (kg) | 0,440±0,05 | 0,380±0,04 |
| Calves got sick in the first month | 3 (13)% | 5 (21,7)% |

Note – compiled by the author

Conclusion. The use of salt briquettes-licks with the addition of bentonites in an amount of 10% and microelements for cows during the winter stall period allows for maintaining the physiological level of micro and macroelements in the animals' bodies. The observations carried out indicate the positive effect of the developed briquettes on the body of cows. Animals in the experimental group showed lower morbidity after calving and subsequently higher milk productivity. Calves born from these cows have greater vitality, are less sick, and have higher weight gain.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for the grant funding under the project AP19678322 "Development of a complex of machines and technologies for the production of mineral and vitamin premixes-lizunts for cattle".

References

- Данилов М.С., Воробьев А.Л., Асангалиев Е.А., Лутай С.С. Минеральное обеспечение коров в условиях крестьянских хозяйствах Восточного Казахстана. Исследования, результаты. Научный журнал // Сборник Казахского национального аграрного университета. – 2016. – № 3. – С. 31-38 // Danilov M.S., Vorob'ev A.L., Asangaliev E.A., Lutaj S.S. Mineral'noe obespechenie korov v usloviyah krest'yanskih hozyajstvah Vostochnogo Kazahstana. Issledovaniya, rezul'taty. Nauchnyj zhurnal // Sbornik Kazahskogo nacional'nogo agrarnogo universiteta. 2016. – № 3. – S. 31-38.
- Дьячков Б.А., Титов Д.В., Сапаргалиев Е.М. Рудные пояса большого Алтая и оценка их перспектив // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – № 3. – С. 222-238 // D'yachkov B.A., Titov D.V., Sapargaliev E.M. Rudnye poysa bol'shogo Altaya i ocenka ih perspektiv // Geologiya rudnyh mestorozhdenij. – 2009. – Т. 51. – № 3. – S. 222-238.
- Технология производства продуктов животноводства. – Т. 1 [Текст]: Учебное пособие / К.К. Бозымов, Е.Г. Насамбаев, В.И. Косилов [и др.], 2019. – 371 (23.2 п. л.) с. // Tekhnologiya proizvodstva produktov zhivotnovodstva. – Т. 1 [Tekst] : uchebnoe posobie / K.K. Bozymov, E.G. Nasambaev, V.I. Kosilov [i dr.], 2019. – 371 (23.2 p. l.) s.
- Хайруллин Д.Д., Шакиров Ш.К., Асрутдинова Р.А. Минеральные вещества, витамины. Практическая значимость, применение в кормлении жвачных животных. – Лань, 2023 г. // Hajrullin D.D.,

- SHakirov SH.K., Asrutdinova R.A. Mineral'nye veshchestva, vitaminy. Prakticheskaya znachimost', primeneniye v kormlenii zhvachnyh zhivotnyh. – Lan', 2023 g.
- Сапарғалиев, Е.М. Формирование, закономерности размещения и разработка новых технологий использования бентонитовых глин Восточно-Казахстанской области. Автореф. дисс.... докт. геол.-минер. наук. – М., 2010. – 50 с. // Sapargaliev, E.M. Formirovanie, zakonomernosti razmeshcheniya i razrabotka novykh tekhnologij ispol'zovaniya bentonitovyh glin Vostochno-Kazahstanskoj oblasti. Avtoref. diss.... dokt. geol.-miner. nauk. – М., 2010. – 50 с.
- Семенов М.П. Фармакология и применение бентонитов в ветеринарии // Автореф. дисс. ... докт. вет. наук. – Краснодар. – 2008. – 48 с. // Semenenko M.P. Farmakologiya i primeneniye bentonitov v veterinarii. // Avtoref. diss. ... dokt. vet. nauk. – Krasnodar. – 2008. – 48 с.
- Великанов В.И., Елизарова Е.А. Лекарственные средства, применяемые в ветеринарной медицине, Лань, 2024. – 176 с. // Velikanov V.I., Elizarova E.A. Lekarstvennyye sredstva, primenyaemye v veterinarnoj medicine, Lan', 2024. – 176 с.
- Gallo, A., Masoero, F., 2010. *In vitro* model to evaluate the capacity of different sequestering agents to absorb aflatoxins. Ital. J. Anim. Sci. – № 9. – P. 109-116.
- Hassen, A., Jamoussi, F., Saidi, N., Mabrouki, Z., Fakhfakh, E., 2003. Microbial and cooper adsorption by smectitic clay – an experimental study. Environmental Technology. – № 24. – P. 1117-1127.
- Jaynes, W.F. Zartman, R.E., Hudnall, W.H., 2007. Aflatoxin B-1 adsorption by clay from water and corn meal. Appl. Clay Sci. – № 36. – P. 197-205.
- Kikouama, O.J.R., Konan, K.L., Katty, A., Bonnet, J.P., Balde, L., Yagoubi, N., 2009. Physico-chemical characterization of edible clays and release of trace elements. Appl. Clay Sci. 43, 135-141.
- Lawler, J.B., Hassel, D.M., Magnuson, R.J., Hill, A.E., McCue, P.M., Traub-Dargatzis, J.L., 2008. Adsorptive effects of di-tri-octahedral smectite on Clostridium perfringens alpha, beta, and beta-2 exotoxins and equine colostral antibodies. Am. J. Vet. Res. № 69. – P. 233-239.
- Murray, H.H., 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite / a general overview. Appl. Clay Sci. – № 17. – P. 207-221.
- Slamova, R., Trckova, M., H. Vondruskova, Zraly, Z., Pavlik, I., 2011. Clay minerals in animal nutrition. Applied Clay Science. 51, 395-398.
- Wilson M.J. (2003): Clay mineralogical and related characteristics of geophagic materials. J. Chem. Ecol. – № 29. – P. 1525-1547.

Information about authors

Asangaliev E.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the NAO "D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University", elibek60@mail.ru

Danilov M.S. – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor at the D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, danilov-ms@yandex.kz

Lutai S.S. – Master of Agricultural Sciences, Senior lecturer at the D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, sslutai@mail.ru

Karmanov D.K. – Candidate of technical sciences, Deputy Chairman of the management board for scientific work research and production center of Agroengineering, Almaty darhankk85@mail.ru

Mlynchak M. – Professor, habilitated doctor, engineer, Wroclaw Polytechnic University, Wroclaw, Poland, marek.mlynchak@pwr.edu.pl

МАШИНАЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_13
IRSTI 55.39.45

R. Gabdyssalyk¹, M.N. Argynbayev², K.T. Sherov³, S.R. Baigereyev¹,

¹D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

*E-mail: riza.gabdyssalyk@mail.ru**

E-mail: sbaigereyev@edu.ektu.kz

²«Ust-Kamenogorsk Industrial Valves Plant» JSC, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: meddetello@gmail.com

³Kazakh Agro-Technical Research University, Astana, Kazakhstan

E-mail: shkt1965@mail.ru

IMPROVEMENT OF PIPE FITTINGS – DN50 BALL VALVE TO ENSURE TIGHTNESS AT PN 40 MPA

ҚҰБЫР АРМАТУРАСЫН ЖЕТІЛДІРУ – DN50 ШАРЛЫ КРАНЫНДА PN 40 МПА КЕЗІНДЕ ГЕРМЕТИКАЛЫҚТЫ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ – КРАНА ШАРОВОГО DN50 ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПРИ PN 40 МПА

Abstract. The article discusses pipeline fittings for flow control at high pressure. The authors proposed replacing the seat manufacturing material with heat treatment and making changes to improve the design of the body. The proposed option for upgrading the ball valve body makes it possible to ensure PN 40 MPa and improves tightness, increases durability and wear resistance. The proposed changes are confirmed by calculations using the ANSYS program, special attention is paid to calculations for checking the strength of the structure due to complete deformation of the body under different conditions and separate calculations for the saddle.

Keywords: pipeline fittings, ball valve improvement, tightness, high pressure.

Аңдатпа. Мақалада жоғары қысымды ағынды реттеуге арналған құбыр арматурасы қарастырылады. Авторлар ер-тоқымның материалын термиялық өңдеуге ауыстыруды және тұрқының құрылымын жақсарту бойынша өзгерістер енгізуді ұсынады. Шарлы кранның тұрқысын жетілдіру PN 40МПа-ды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді және тығыздықты жақсартады, беріктік пен тозуға төзімділікті арттырады. Ұсынылған өзгерістер ANSYS бағдарламасындағы есептеулермен расталады, әртүрлі жағдайларда тұрқының толық деформациясы арқылы құрылымның беріктігін тексеруге және ер-тоқымға жеке есептеулер жүргізуге ерекше назар аударылады.

Түйін сөздер: құбыр арматурасы, шарлы кранды жетілдіру, тығыздау, жоғары қысым.

Аннотация. В статье рассматривается трубопроводная арматура для регулирования потока при высоком давлении. Авторами предложено замена материала изготовления седла с термообработкой и внесение изменения по совершенствованию конструкции корпуса. Предложен вариант по модернизации корпуса крана шарового дает возможность для обеспечения PN 40 МПа и улучшает герметичность, увеличивает долговечность и износостойкость. Предложенные изменения подтверждаются расчетами с помощью программы ANSYS, особое внимание уделяется расчетам проверки прочности конструкции за счет полной деформации корпуса при разных условиях и отдельным расчётам на седло.

Ключевые слова: трубопроводная арматура, совершенствование шарового кран, герметичность.

Introduction.

In the Republic of Kazakhstan, the main technical task is to develop a highly organized pipeline transport system for the transportation of various liquid neutral and aggressive environments such as oil, petroleum products, steam, cold and hot water. The purpose of this system is to guarantee a high degree of reliability and maximum compliance with environmental standards and environmental safety requirements (Gabyssalyk, 2019).

According to its functional purpose, valves are classified into several main groups: shut-off, regulating, distribution, safety, protective, phase separation. To perform the same functions, there are various types of valves, among which the main ones are gate valves, ball valves, taps and dampers. Among the main operational characteristics of the valve, the pressure with which it must work is highlighted. To meet various technical requirements, several types of pressure are distinguished which are conditional, working, and trial. Each of these pressures has its own specific role in ensuring the safety and efficiency of the valve (Gurevich, 1981).

Ball valve are devices that include armature components with movable elements capable of performing rotational movement around an axis perpendicular to the direction of flow of the medium. The shape of the movable part determines the following type of crane which are conical, spherical or cylindrical. They are often used in applications with high pressure and high temperature, as well as in applications where precise flow control is required.

Figure 1 shows the design of a standard ball valve manufactured at JSC «Ust-Kamenogorsk Industrial Fittings Plant» (UIFP).

The ball valve we are considering is a ball (spherical) valve, which is widely used in various branches of mechanical engineering, the oil and gas industry and water supply.

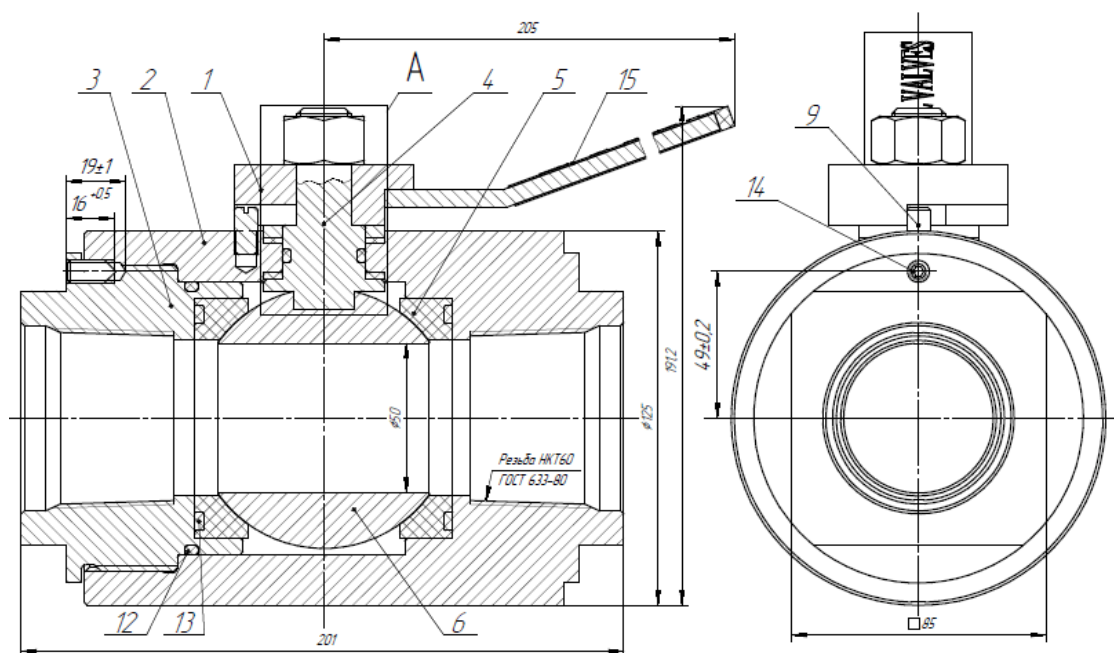


Figure 1. Design of a ball valve manufactured by JSC «Ust-Kamenogorsk Industrial Fittings Plant»

Note – compiled by the authors on the basis of a UIFP drawing (Argymbayev, Gabdysalyk, 2023)

Literature review.

A literary analysis was carried out and the designs of existing enterprises for the manufacture of ball valves were considered. In the course of the research, three patents were studied

(Panchekha, Andreev & Burmistrov, 2006; Aghababayan, 2019; Galaganov 2006), each of which has its advantages and disadvantages. One of the patents developed by Panchekha Y.S., Andreev A. P., Burmistrov B.V. improves the design of the saddle, making it composite, which helps to ensure tightness. However, such an improvement increases the complexity of manufacturing the saddle and leads to an increase in cost, which is undesirable.

Another patent, proposed by R.E. Aghababayan, is distinguished by the presence of a groove in each hole of the body, which allows you to securely fix the saddle. However, the disadvantage of this design is the difficulty of replacing the deformed saddle, after which there may be a problem with tightness.

The invention proposed by Galaganov V.N. is based on the use of a metal saddle and a bushing with uneven end surfaces. However, this leads to wear of the ball sphere and leads to an increase in the cost of the ball valve when using a non-metallic saddle.

In this regard, none of these patents and the solutions used in them are completely suitable for improving the ball valve without changing the cost.

Materials and methods of research.

Ball valves manufactured by JSC UIFP are divided into threaded, flanged and welded according to the connection principle. Their ball valves are designed to operate at a nominal pressure of up to 12.5 MPa and a nominal diameter of 50 mm.

The faucet we are considering is threaded. The connecting threads of this ball valve are HKT 60, HKT 73, NPT 2 и LP 2.

Ball valves are supplied both separately and as part of fountain fittings. Or rather, as part of the rod-pump fittings (Figure 2) or the equipment of the wedge columns.

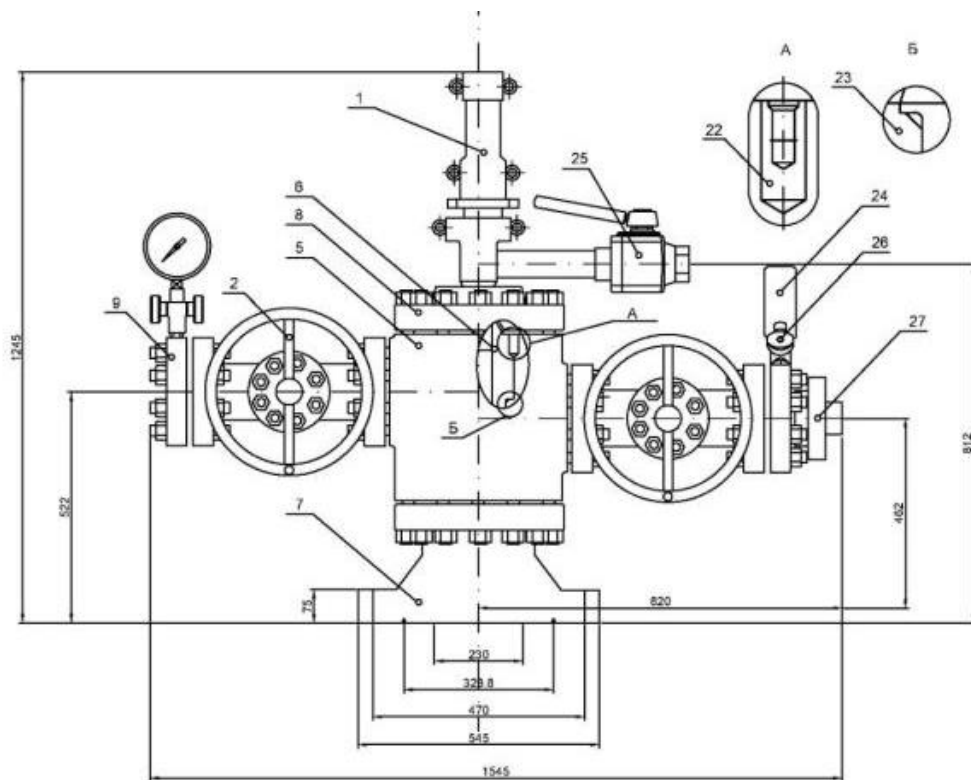


Figure 2. Rod pump fitting

Note – compiled by the authors on the basis of a UIFP drawing (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

The rod-pump fittings are designed for sealing the mouth of oil wells, suspension of the downhole pipeline, control of the flow of the working environment, control over the parameters of the downhole environments in the pipe and annulus space.

In position 25 of Figure 2, a ball valve is shown in the drawing of the valve of the rod pump installation.

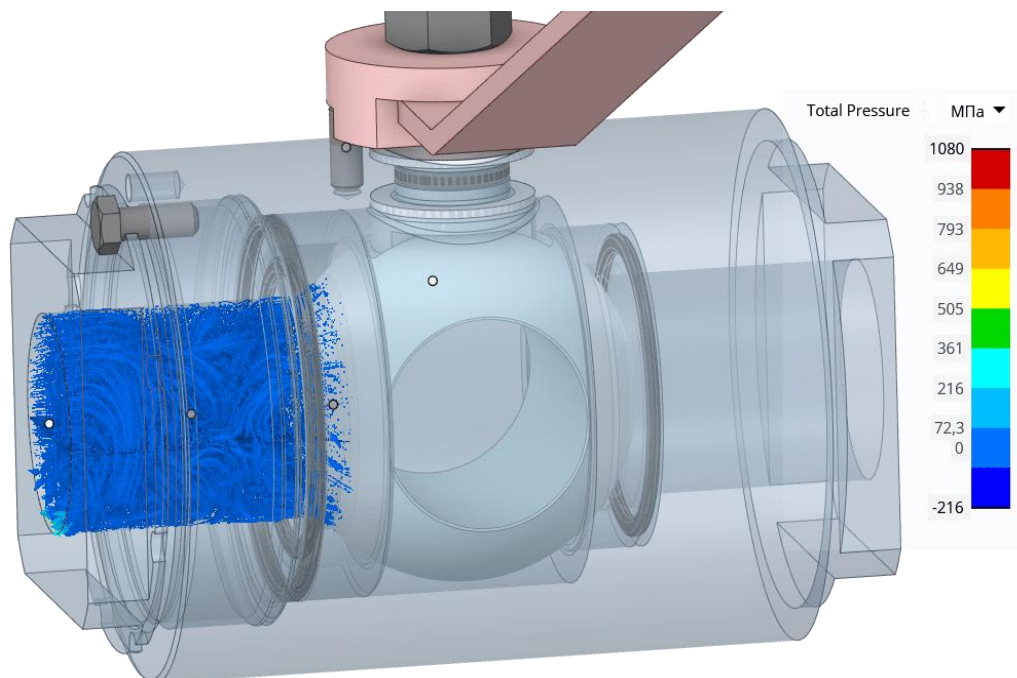


Figure 3. Ball valve in the «closed» position

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

Since the manufacturer came to the conclusion to switch to the market of valves with higher pressure, it was decided to improve the design of the ball valve to ensure tightness at high pressures, or rather up to 40 MPa (Argymbayev & Gabdyssalyk, 2022).

It is proposed to replace the saddle manufacturing material and make changes to refine the design of the ball valve body to improve tightness, increase durability and wear resistance (Argymbayev & Gabdyssalyk, 2023).

Figure 3 shows a 3D model with modifications and a ball valve in the closed working position.

The ball inside the ball valve has a hole that corresponds to the diameter of the pipeline. In the closing position, this hole is aligned perpendicular to the flow of the working environment, blocking it completely. As a result, the ball valve ensures complete cessation of the flow of the working environment when closed.

When the ball valve is in the closed position, it ensures tightness and prevents leakage of the working environment in the system. This is important for the control and safety of the process, as it prevents unwanted leakage or loss of the working environment in an undefined direction.

With the help of the ANSYS 2023 program, we were able to perform calculations of the ball valve body in order to assess its strength and reliability under specified operating conditions. We created a three-dimensional model of the ball valve and determined boundary conditions such as applied loads, movement restrictions and materials used in the structure.

First of all, we performed a calculation to determine whether the ball valve can withstand the high pressures that we plan to apply in its work.

To test the strength of the structure, we used several basic parameters: complete deformation of the body, equivalent stress and safety margin. These parameters help us to assess how well the ball valve design is able to cope with the specified loads without exceeding the permissible limits.

By applying pressure to the ANSYS ball valve model, we obtained information about the complete deformation of the body (Figure 4). This allowed us to determine how much the structure will change its shape under the influence of the load. If the total deformation does not exceed the permissible limits, then the structure is considered suitable for use.

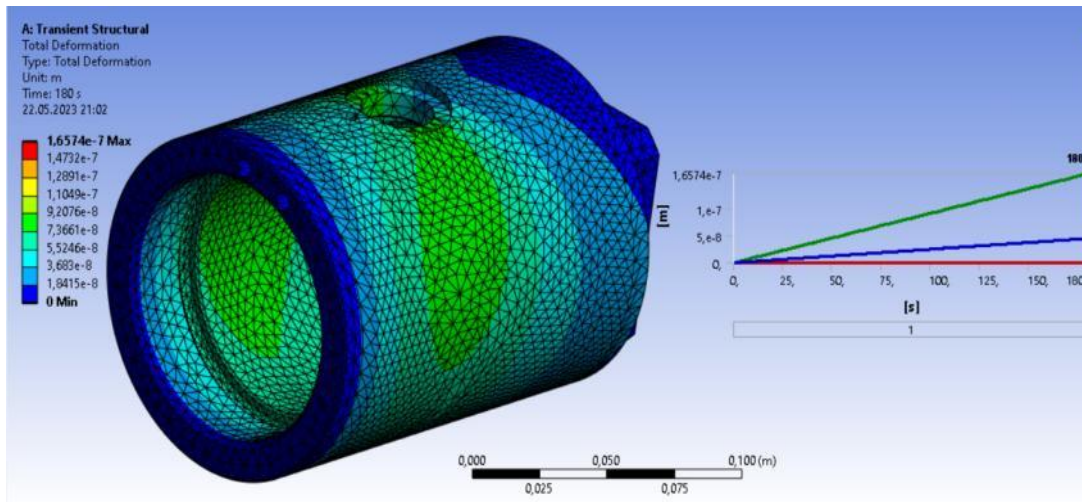


Figure 4. Calculation of the total deformation of the ball valve body structure

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

In the process of calculating the complete deformation of the ball valve body structure around the spindle hole, we found that this area is a weak link in the structure. Possible reasons may be related to geometry features, the chosen material, or other factors.

Applied loads and pressures can cause significant deformations and stresses in the vicinity of the spindle hole. This can lead to overloading and deformation of the material in this area, which can negatively affect the strength and reliability of the structure.

During the calculations, we applied a pressure increasing from 0 to 180 MPa for 3 minutes. This pressure was gradually increased every second during this time. Our goal was to check whether the ball valve body is capable of withstanding such a load.

The calculation results showed that the design of the ball valve body successfully coped with the applied pressure. Deformations and stresses were observed for three minutes, but they remained within the safe values, and the structure did not exceed the limit values.

This indicates that our ball valve design has sufficient strength and is able to withstand the high pressures that we want to apply in the future.

To estimate the stresses in the structure, we used an equivalent stress (Figure 5). This is an indicator that takes into account different types of stresses in the material and brings them to a single value for comparison with acceptable values. If the equivalent stress remains within safe values, then the structure is considered durable.

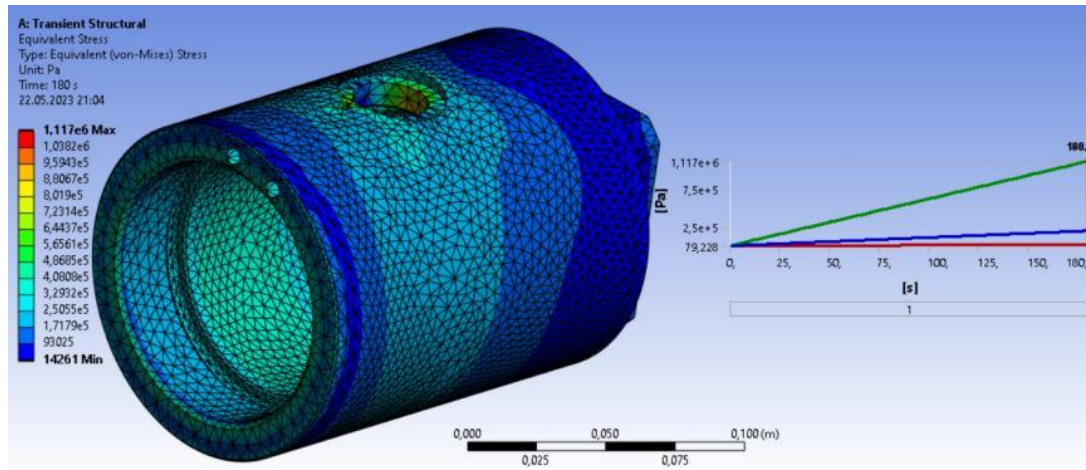


Figure 5. Calculation of the equivalent stress of the ball valve body structure

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

When calculating the equivalent stress inside the ball valve body using the ANSYS program and other engineering tools, we obtained the result that the body can withstand up to 111.7 MPa of pressure.

This means that the applied pressure inside the ball valve body should not exceed 111.7 MPa to ensure the safe operation of the structure. If the pressure exceeds this limit, there is a risk of exceeding the permissible values of the equivalent stress, which can lead to deformation or damage to the valve body.

The calculation results allow us to evaluate the strength characteristics of the valve body and verify its ability to withstand specified pressures within safe values of equivalent stress.

The margin of safety (Figure 6) is the ratio between the maximum load that the structure can withstand and the actual load that we plan to apply. A greater margin of safety means that the design has greater safety and reliability in working.

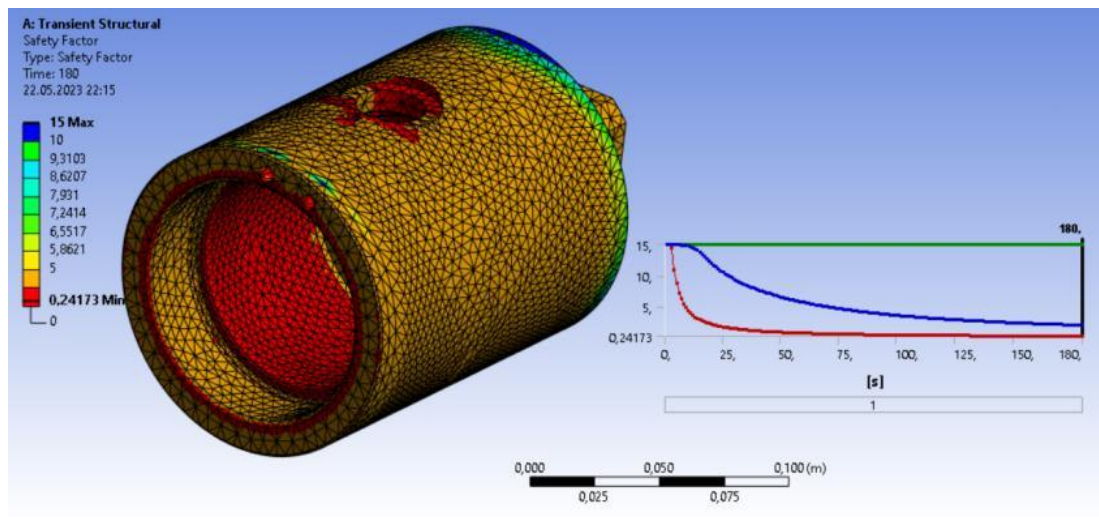


Figure 6. Strength reserve of the structure of the ball crane structure

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

Analyzing the results obtained at ANSYS, we determined that our ball valve design meets the specified parameters. The complete deformation of the body, the equivalent stress and the margin of safety are within acceptable values, which indicates that the crane is able to withstand high pressures and operate reliably and safely.

After completing the calculation of the ball valve body, we moved on to the calculation of the ball valve saddle. The saddle is an important part of the structure, which ensures tightness and coupling with the ball element.

To calculate the saddle of a ball valve, we also used the ANSYS program and other engineering tools. The main parameters that we analyzed were contact pressure and saddle stresses.

We have created a 3D model of the saddle based on drawings and specifications. Then we applied the loads and pressures that usually occur in the operating conditions of the ball valve. Calculations were carried out to check whether the saddle is able to withstand these loads without deformations or damage.

The calculation results allowed us to determine the contact pressure that acts on the saddle and verify that it is within safe limits for the saddle material. We also evaluated the stresses that occur in the saddle under load to ensure that they do not exceed the strength limits of the material.

When calculating the total deformation of the ball valve (Figure 7), we paid attention to the place of contact of the saddle with the ball and its behavior when applying a load. The results showed that this contact point is the most prone to deformation.

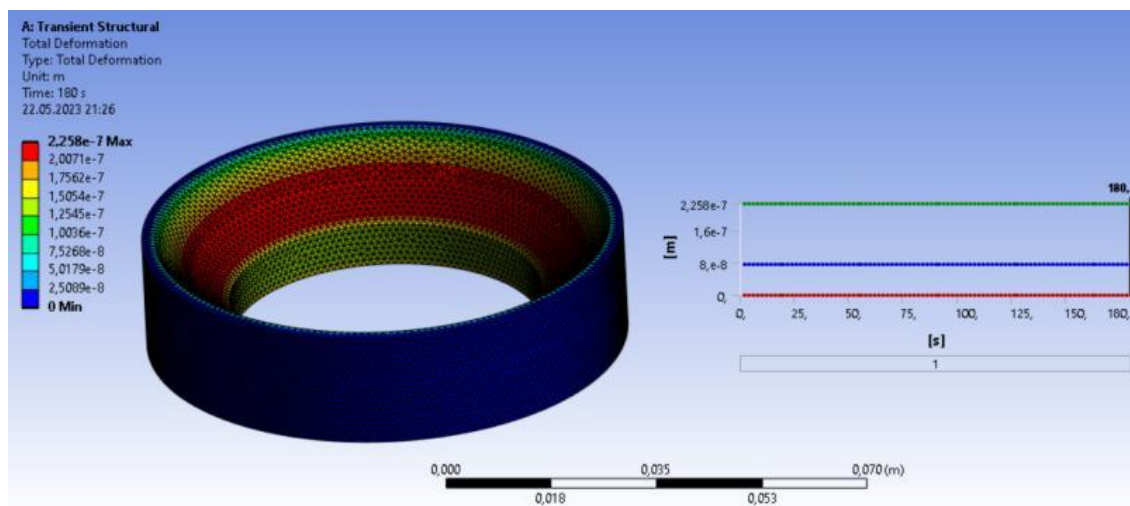


Figure 7. Calculation of the total deformation of the ball valve saddle structure

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

When the ball valve is loaded, the internal pressure causes deformation of the saddle material in the area of contact with the ball. This is due to the high forces transmitted from the ball to the saddle during ball valve operation.

After completing the analysis of deformations and deformability of the ball valve saddle, we moved on to an important stage of calculation which is determining the equivalent stress to which the saddle is subjected during operation.

The calculation of the equivalent stress (Figure 8) is an integral part of the design, as it allows you to assess the loads that the saddle material is experiencing and its ability to cope

with these loads without the risk of damage or deformation. It is important to emphasize that the correct assessment of the equivalent stress is the basis for ensuring the reliability and durability of the ball valve design.

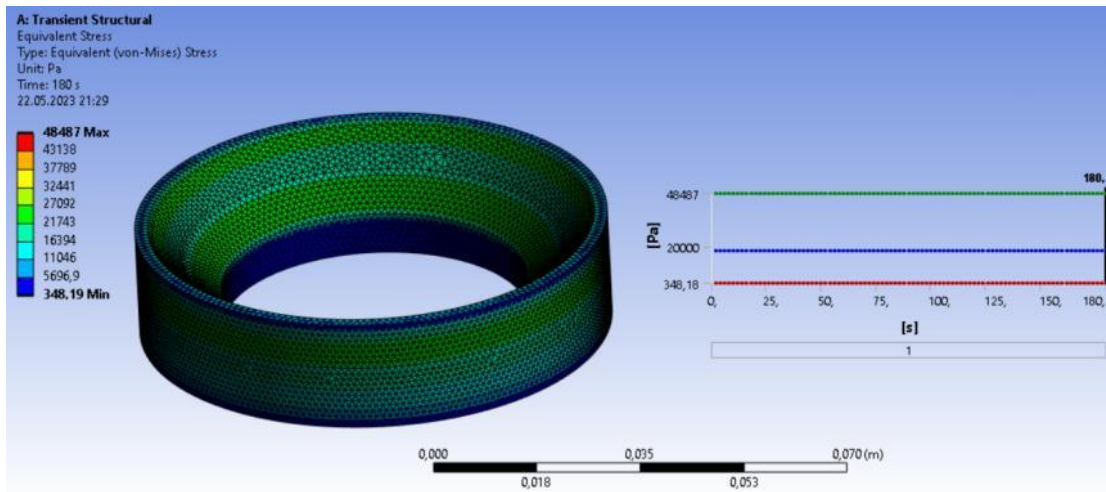


Figure 8. Calculation of the equivalent stress of the ball valve saddle design

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

When calculating the equivalent stress in the saddle of the ball valve, we found that the saddle is able to withstand pressures up to 48.487 MPa.

The equivalent stress is a measure of the stress that acts on the saddle material. It is calculated based on the applied loads and the geometry of the saddle. The results of calculating the equivalent stress allow us to determine how reliably the saddle copes with the applied loads and how close it is to the ultimate strength of the material.

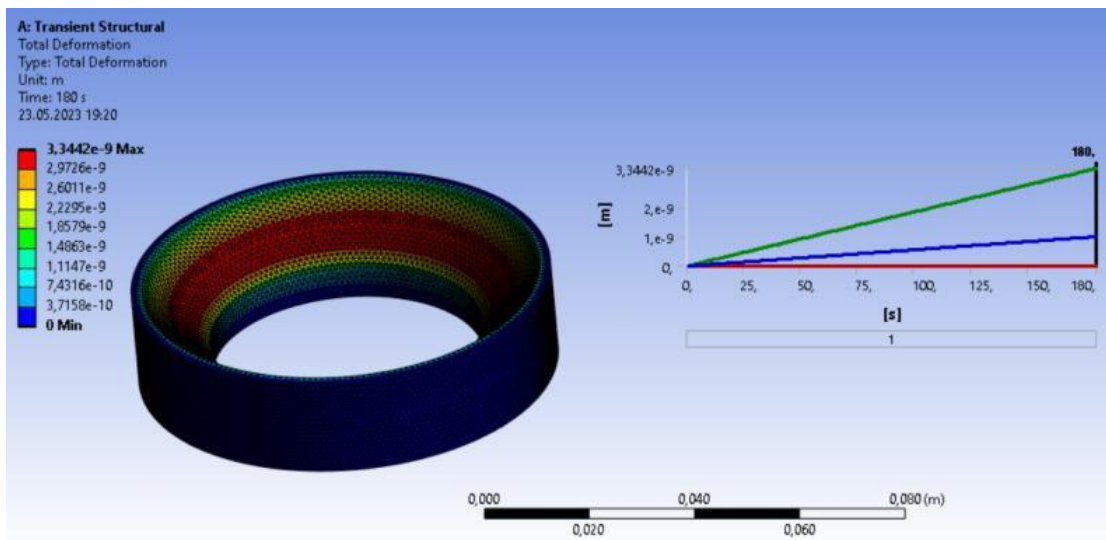


Figure 9. Calculation of the total deformation of the structure of the heat-treated saddle of the ball valve

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

In this case, calculations have shown that the saddle of the ball valve can withstand pressure up to 48.487 MPa. This means that when applying pressure within this value, the saddle remains within the safe strength limits of the material.

However, it is important to note that only the specified loads and geometry are taken into account when calculating the equivalent stress. The actual operating conditions of a ball valve may include additional factors such as dynamic loads, cyclic loads, vibrations, etc. Therefore, it is recommended to conduct additional research and testing to verify the reliability of the saddle in specific operating conditions.

The obtained equivalent stress results are important for the design and selection of saddle materials, as well as for ensuring safe and reliable operation of the ball valve.

For a more detailed analysis and evaluation of the behavior of the heat-treated saddle material, in this case caprolon, the computer program ANSYS 2023 was used. Calculations were performed to determine the reaction of the saddle material at high pressures. Calculations were carried out for the complete deformation of the saddle (Figure 9), which means that the degree of deformation of the material under the action of high pressures was analyzed.

The results of calculations for full deformation showed that the saddle does experience significant deformations at high pressures. This is an important aspect for evaluating the operability and tightness of the ball valve under extreme loads.

To subsequently assess the safety and reliability of the saddle, calculations (Figure 10) for equivalent stress were carried out. The equivalent stress is the value of the stress that would cause the same degree of deformation as was observed as a result of external loads on the material. In this case, the equivalent saddle stress was 74.3 MPa.

However, it should be noted that the value of the equivalent stress is only an indicator exclusively for this calculation. At such high stress values, the saddle material may undergo plastic deformations, which may affect its durability and reliability in the long term.

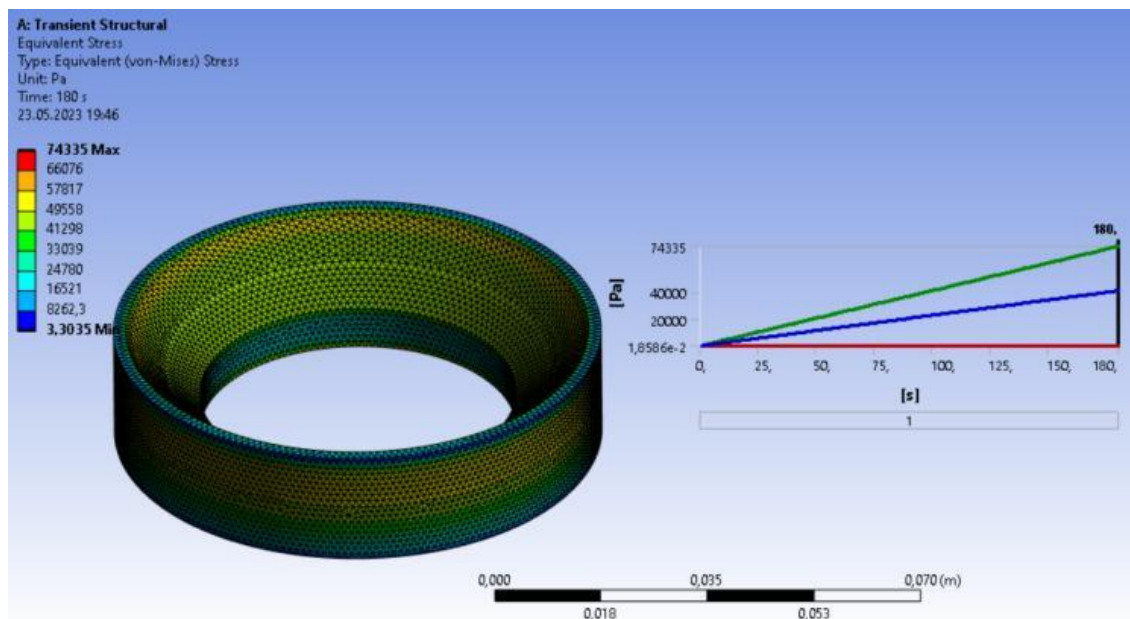


Figure 10. Calculation of the equivalent stress of the structure of the heat-treated saddle of the ball valve

Note – compiled by the authors on the basis of (Argymbayev, Gabdyssalyk, 2023)

It is important to note that the calculation results and stress values are preliminary and require additional verification and analysis. In order to decide on further improvements and optimizations of the saddle design, it is recommended to conduct additional research, such as physical tests or detailed stress analysis using other modeling methods.

In addition, when calculating the complete deformation of the saddle, where pressure was applied to the entire surface of the saddle, the results may differ from real conditions, where stress appears at the point of contact of the saddle with the ball.

In real conditions, when the saddle is in contact with the ball, there is a point or linear contact between them, and it is in these areas that the highest stresses occur. However, in our ANSYS 2023 calculation application, it was not possible to determine the exact pressure contact point between the saddle and the ball. This is due to the limitations of modeling and simplifications that have been applied in the calculation process. Thus, the results obtained as part of the calculation for the complete deformation of the saddle are only approximate and cannot fully reflect the real conditions where stress occurs at the point of true contact between the saddle and the ball.

Results and their discussion

In the course of research and design, among the various options for improving ball valves, the direction of modernization of the ball valve saddle was chosen. To improve the tightness in this link, the following changes were applied which are heat treatment of the saddle material and boring of the groove under the saddle. These measures made it possible to achieve a tight fit of the saddle and the sealing ring, and the sealing ring also performed the function of a spring, providing additional sealing and tightness.

The main result of the modernization is to increase the tightness of ball valves. Before the modernization, the ball valves had a tightness of 12.5 MPa. However, after the introduction of upgraded ball valve, their tightness was significantly improved and reached the level of 40 MPa. This is an important achievement that allows the use of upgraded ball valves in high pressure conditions and ensures reliability and safety in the operation of pipeline systems.

In *conclusion*, the modernization of ball valves manufactured by UIFP JSC was successfully carried out without a slight change in the price indicators of ball valves. It allowed to solve the problem of insufficient tightness, significantly improved the functional characteristics and provided increased tightness of ball valves. This is important for the development and improvement of pipeline fittings, ensuring the safety and reliability of engineering systems.

Thus, consumers can get significant improvements in the tightness and functionality of ball valves at a relatively small additional cost.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Appreciation. This abstract is funded by the committee of Science of the Ministry of Science and higher education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP22683698 – "Increasing the wear resistance of sealing surfaces of connecting parts of large gate valves").

References

- Фабдысалық Р. (2019). Совершенствование технологии изготовления крупногабаритных шибберных задвижек для магистральных трубопроводов: диссертация на соискание степени доктора философии. Режим доступа: <https://www.kstu.kz/wp-content/uploads/2019/09/Dissertatsiya-abdysaly-R.pdf> // Gabdyssalyk R. Sovershenstvovanie tehnologii izgotovleniya krupnogabaritnyh shibbernyh zadviyek dlya magistral'nyh truboprovodov: dissertatsiya na na soiskanie stepeni doktora filosofii.
- Гуревич Д. Ф. (1981). Трубопроводная арматура: Справочное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, – 368 // Gurevich D.F. (1981). Truboprovodnaya armatura: Spravochnoe posobie. – 2-е izd., pererab. i dop. – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie. – 368.
- Панчева Ю.С., Андреев А.П., Бурмистров Б.В. "Седло шарового клапана". Патент Российской Федерации № 2273780. Опубликовано 10 марта 2006 г. // Pancheva YU.S., Andreev A.P.,

- Burmistrov B.V. "Sedlo sharovogo klapana". Patent Rossiiskoi Federacii № 2273780. Opublikovano 10 marta 2006 g.
- Агабабян Р.Е. "Шаровой кран". Патент Российской Федерации № 2705172. Опубликовано 27 ноября 2019 г. // Agababyan R.E. "Sharovoi kran". Patent Rossiiskoi Federacii № 2705172. Opublikovano 27 noyabrya 2019 g.
- Галаганов В. Н. "Шаровой кран". Патент Российской Федерации № RU2277662C1. Опубликовано 10 июня 2006 г. // Galaganov V.N. "SHarovoi kran". Patent Rossiiskoi Federacii № RU2277662C1. Opublikovano 10 iyunya 2006 g.
- Argynbayev M., Gabdyssalyk R. (2022). «Suggestion to improve the design of the ball valve to ensure tightness», Proceedings of V International Scientific and Practical Conference, Barcelona, Spain, 5-7 June, 821 p.
- Арғынбаев М.Н., Фабдысалық Р. (2022). «План совершенствования конструкции крана шарового для обеспечения герметичности», VIII Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и молодых учёных «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана», посвященная 100-летию первого ректора Серикбаева Д.М. и 100-летию второго ректора Сидорова А.К. 7-8 апреля. Часть I, 227 с. // Argynbaev M.N., Gabdyssalyk R. (2022). «Plan sovershenstvovaniya konstrukcii kрана шарovogo dlya obespecheniya germetichnosti», VIII Mejdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya studentov, magistrantov i molodyh uchyonyh «Tvorchestvo molodyh – innovacionnomu razvitiyu Kazahstana», posvyaschennaya 100-letiyu pervogo rektora Serikbaeva D.M. i 100-letiyu vtorogo rektora Sidorova A.K. 7-8 aprelya. Chast' I, 227 s.
- Арғынбаев М.Н., Фабдысалық Р. (2023) «Предложение по усовершенствованию конструкции крана шарового для обеспечения герметичности», IX Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и молодых учёных «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана», посвященная 65-летию университета. 13-14 апреля. Часть I, 243 с. // Argynbaev M.N., Gabdyssalyk R. (2023) «Predlojenie po usovershenstvovaniyu konstrukcii kрана шарovogo dlya obespecheniya germetichnosti», IX Mejdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya studentov, magistrantov i molodyh uchyonyh «Tvorchestvo molodyh innovacionnomu razvitiyu Kazahstana», posvyaschennaya 65-letiyu universiteta. 13-14 aprelya. Chast' I, 243 s.
- Арматура Фланцевая, Патрубками Резьбовыми и под Приварку// ASME B16.34 – Valves – Flanged, Threaded, and Welding End.
- СТ 1836-1917-01-АО-О6- 2018 – Краны шаровые DN до 1000; PN до 12,5 МПа (125 кг/см²) Технические условия, АО "Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры" // ST 1836-1917-01-АО-О6- 2018 - Krany шарovye DN do 1000; PN do 12,5 MPa (125 kg/sm²) Tehnicheskie usloviya, АО "Ust'-Kamenogorskii zavod promyshlennoi armatury".

Information about authors

Gabdyssalyk Riza – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: riza.gabdyssalyk@mail.ru, ORCID:0000-0001-9184-0897, +7 777 356 87 67

Argynbayev Medet – master of technical sciences, Ust-Kamenogorsk Industrial Fittings Plant JSC, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: meddetello@gmail.com, +7 747 8621250

Sherov Karibek Tagaevich – Doctor of Technical Sciences, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan, E-mail: shkt1965@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0209-180x, +7 775 3501771

Baigereyev Samat – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: sbaigereyev@edu.ektu.kz, ORCID:0000-0002-7773-5457, +7 777 411 96 50

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_24
MPHTI 55.57.33

Г.А. Гурьянов¹, В.С. Яковлев², М.В. Дудкин³, А.И. Ким⁴, Петр Стрычек⁵

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: gguryanov@ektu.kz

E-mail: vel1051@yandex.ru

*E-mail: MDudkin@ektu.kz**

²Университет МИРАС, г. Шымкент, Казахстан

E-mail: alinakim3107@gmail.com

³Вроцлавский университет науки и технологий, г. Вроцлав, Польша

E-mail: piotr.stryczek@pwr.edu.pl

ВЫВОД ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ, ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА

ТЕОРИЯЛЫҚ ТӘУЕЛДІЛІКТЕРДІ ШЫҒАРУ ЖӘНЕ ЕГІС КЕШЕНІНІҢ ҚҰРАМЫНА КІРЕТІН ЖАБДЫҚТЫҢ ЖАҢА ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ТОРАПТАРЫНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІ МЕН ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН АНЫҚТАУ

DERIVATION OF THEORETICAL DEPENDENCIES AND DETERMINATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS AND OPERATING MODES OF NEW STRUCTURAL UNITS OF EQUIPMENT INCLUDED IN THE SEEDING COMPLEX

Аннотация. Статья посвящена взаимодействию дисковых рабочих органов посевного агрегата с почвой. Изложены причины повышения сил тягового сопротивления и энергоемкости обработки почвы, снижения стабильности глубины ее резания при увеличении рабочих скоростей посевных агрегатов с дисковыми рабочими органами. Разработана теоретическая модель резания почвы дисковым рабочим органом, получена математическая зависимость силы сопротивления резанию от скорости рабочего органа и переменных свойств почвы, объясняющая факты увеличения энергоемкости и снижения качества процесса резания. Предложены меры по снижению сил тягового сопротивления и энергоемкости обработки почвы, повышению стабильности глубины ее резания. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов статического и вибрационного резания дисковым рабочим органом, подтверждающие полученные теоретические результаты и доказывающие эффективность и целесообразность применения вибрационного резания почвы дисковым рабочим органом для снижения тягового сопротивления и затрат энергии и стабилизации глубины резания в широком диапазоне изменения рабочих скоростей.

Ключевые слова: посев, сеялка, сошник, режущий диск, дисковый рабочий орган, вибрационные рабочие органы, вибрация, тяговое сопротивление, энергоемкость, глубина резания.

Аңдатпа. Мақала егіс агрегатының дискілі жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуіне арналған. Топырақты өңдеудің тартылыс кедергісі мен энергия сыйымдылығының күштерінің жоғарылауының, дискілі жұмыс органдары бар егістік агрегаттарының жұмыс жылдамдығының артуымен оны кесу тереңдігінің тұрақтылығының төмендеуінің себептері сипатталған. Дискінің жұмыс органымен топырақты кесудің теориялық моделі жасалды, кесуге төзімділік күшінің жұмыс органының жылдамдығына және топырақтың өзгермелі қасиеттеріне математикалық тәуелділігі алынды, бұл энергия сыйымдылығының жоғарылауы және кесу процесінің сапасының төмендеуі фактілерін түсіндіреді. Топырақты

өңдеудің тарту кедергісі мен энергия сыйымдылығын төмендету, оны кесу тереңдігінің тұрақтылығын арттыру бойынша шаралар ұсынылды. Алынған теориялық нәтижелерді растайтын және тарту кедергісі мен энергия шығынын азайту және жұмыс жылдамдығының өзгеруінің кең ауқымында кесу тереңдігін тұрақтандыру үшін дискілі жұмыс органының топырақты дірілдейтін кесуін қолданудың тиімділігі мен орындылығын дәлелдейтін дискілі жұмыс органының статикалық және дірілмен кесу процестерін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген.

Нәтижелері: осы бапта келтірілген зерттеулерді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (AP14869252 "Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік өндірісі жағдайында пайдалану үшін өнімділігі жоғары әмбебап егіс кешенінің конструкциясын әзірлеу" гранты)

Түйін сөздер: себу, сепкіш, сошник, кескіш диск, диск жұмыс органы, дірілдейтін жұмыс органдары, діріл, тарту кедергісі, қуат сыйымдылығы, кесу тереңдігі.

Abstract. The article is devoted to the interaction of the disc working parts of the seeding unit with the soil. The reasons for the increase in traction resistance forces and energy intensity of soil cultivation, the decrease in the stability of the cutting depth with an increase in the operating speeds of sowing units with disk working bodies are outlined. A theoretical model of cutting soil with a disk working body has been developed, a mathematical dependence of the cutting resistance force on the speed of the working body and variable soil properties has been obtained, explaining the facts of increasing energy intensity and reducing the quality of the cutting process. Measures have been proposed to reduce traction resistance forces and energy intensity of soil cultivation, and increase the stability of the cutting depth. The results of experimental studies of the processes of static and vibration cutting with a disk working body are presented, confirming the theoretical results obtained and proving the effectiveness and feasibility of using vibration cutting of soil with a disk working body to reduce traction resistance and energy costs and stabilize the cutting depth in a wide range of operating speeds.

Keywords: sowing, seed drill, coulter, cutting disc, disk tillage tool, vibrating tillage tools, vibration, traction resistance, energy intensity, cutting depth.

Введение. Технология прямого посева без вспашки почвы применяется для повышения эффективности производства сельскохозяйственных культур (I.A. Spasin – М.: Kolos, 2006; Pimenov A.V. Agrarnyy konsultant. 2013). Сеялки прямого посева (Salford 520 (Канада), Берегиня АП-402 (Россия), СРН-2000F (США), SD7200 (Казахстан), John Deere 1590 (США), Crucianelli Pionera 2717 и др.) имеют сошниковые группы, которые должны разрезать растительные остатки, создавать посевную бороздку требуемой постоянной глубины и обеспечивать точный посев.

В настоящее время при обработке почвы используется механическое воздействие различными рабочими органами, которое, в общем случае, сопровождается ее резанием, крошением, уплотнением и перемещением (V.R. Petrovets i dr. - Gorki, 2019; Bulavintsev R.A. Agrotekhnika i energoobespecheniye. 2018; Panov I.M. - М.: Mashinostroyeniye, 2017; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. -М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014). При этом как основное применяется статическое резание, при котором режущий инструмент движется равномерно.

При резании почвы следует заботиться о рациональном и эффективном использовании подводимой к среде энергии, а следовательно, о рациональной организации работы оборудования. Поэтому работы и исследования, направленные на определение факторов, влияющих на энергоёмкость почвообработки, и разработка мер по ее снижению являются актуальными и значимыми.

Применительно к сеялкам прямого посева одними из наиболее актуальных задач можно считать создание широкозахватных машин, увеличение их рабочих скоростей и производительности (Dudkin M.V. Vestnik VKTU, № 4, 2022, Ust'-Kamenogorsk; Kim A.I. Vestnik VKTU. – Ust-Kamenogorsk: EKTU, 2022; Astakhov V.S. - Minsk, 2019; Aduov M., Soil & Plant Science. – 2020), для чего необходимо добиваться снижения сил сопротивления резанию и энергоёмкости обработки почвы.

Данная работа является одним из этапов исследований резания почвы дисковыми рабочими органами посевных машин (Dudkin M.V., Vestnik VKTU, № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk; Dudkin M.V., Bulletin of the VKTU, No. 3, 2023. - Ust'-Kamenogorsk; M. Doudkin, I.R.E.M.E., Vol 17, No 4, 2023) и отражает попытку авторов расширить понимание механики данного процесса.

Целью работы является изучение процесса высокоскоростного резания почвы дисковыми рабочими органами посевного оборудования, установление причин увеличения сил сопротивления резанию и выработка предложений по их снижению, а также стабилизации глубины резания.

Теоретическое определение сопротивления резанию дисковым рабочим органом. Обоснование режимно-технологических параметров посевной машины с дисковым рабочим органом, имеющей повышенные рабочие скорости, требует определения сопротивления рабочего органа резанию с учетом рассмотренных особенностей его взаимодействия с почвой при повышенных скоростях нагружения.

Сопротивление большинства почвообрабатывающих орудий может быть рассчитано на основе рациональной формулы В.П. Горячкина (Zelenin A.N. - М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. -М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. - М.: Mashinostroyeniye, 2014), которая применительно к плугу имеет вид:

$$P = f \cdot G + k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot V^2,$$

где P – сила тяги трактора или общее сопротивление машины; G – вес машины; f – общий коэффициент трения рабочих органов о почву; $f \cdot G$ – сопротивление плуга при протаскивании в открытой борозде; a , b – глубина обработки почвы и ширина захвата машины; k – удельное сопротивление почвы резанию, Н/м^2 ; V – рабочая скорость движения агрегата, м/с ; ε – коэффициент пропорциональности, учитывающий геометрические параметры и фрикционные свойства рабочих органов машины, $(\text{Н} \cdot \text{с}^2)/\text{м}^4$.

В.П. Горячкин рассмотрел три составляющих силы сопротивления резанию почвы плугом: силу трения, силу сопротивления деформации и силу сопротивления перемещению (отбрасыванию) пласта (Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. – М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014).

Исходя из анализа, сила сопротивления резанию W_1 почвы дисковым рабочим органом будет иметь две составляющих силы: лобовое сопротивление $P_{\text{л}}$ перемещению в почве рабочего органа и сопротивление $P_{\text{см}}$ почвы объемному смятию, т.е.

$$W = P_{\text{л}} + P_{\text{см}}, \text{ Н.}$$

Силу лобового сопротивления перемещению в почве рабочего органа можно определить по формуле (Bulavintsev R.A. Agrotehnika i energoobespecheniye. 2018; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2008; Vetrov Yu.A. – М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014; Dudkin M.V. Vestnik VKTU, № 4, 2022, Ust'-Kamenogorsk)

$$P_{\text{л}} = k_c \cdot h \cdot b \cdot \rho \cdot v^2,$$

где k_c – скоростной коэффициент лобового сопротивления; по опытным данным для различных почвогрунтов $k_c = 5 \dots 20$; ρ – текущая плотность почвы, кг/м^3 ; v – скорость движения дискового рабочего органа, м/с .

Силу сопротивления почвы объемному смятию можно определить по формуле

$$P_{\text{см}} = 0,5 \cdot q \cdot h^2 \cdot b, \text{ Н,}$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м^3 ; средние значения (Vetrov Yu.A. -М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014) коэффициента

объемного смятия для свежеспаханной почвы – 1...2 Н/см³; для жнивья, паров и лугов – 5...10 Н/см³; для грунтовых дорог 50...90 Н/см³; h , b – глубина обработки почвы и толщина диска рабочего органа, м.

Тогда сила сопротивления резанию W_1 почвы единичным дисковым рабочим органом без учета углов установки будет определяться по формуле (1):

$$W_1 = k_c \cdot h \cdot b \cdot \rho \cdot v^2 + 0,5 \cdot q \cdot h^2 \cdot b, \text{ Н.} \quad (1)$$

Полученная формула, в отличие от формулы В.П. Горячкина, дает возможность учесть влияние на величину силы сопротивления резанию увеличения как скорости рабочего органа, так и плотности почвы. При этом учет прироста прочности почвы остается более сложной задачей.

Для учета прироста плотности почвы при увеличении скорости рабочего органа необходимо найти возможное изменение плотности грунта при его сжатии под дисковым рабочим органом.

Рабочий орган при плотности почвы ρ_0 должен переместиться на расстояние x , воздействуя на почву с силой W_0 , равной силе сопротивления почвы при ее плотности ρ_0 , через лобовую площадь S . Объем разрушенной почвы с плотностью ρ_0 должен составить $V_0 = S \cdot x$. Однако из-за уплотнения почвы при ее сжатии под действием лобовой площади S и возросшего вследствие этого до величины W_1 сопротивления перемещение РО будет меньше величины x . При этом слой почвы толщиной Δx перед РО окажется уплотненным до плотности $\rho > \rho_0$, а рабочий орган переместится на фактическое расстояние $x_f = x - \Delta x$. Объем деформированной, т.е. сжатой до плотности ρ , почвы составит $V = S \cdot \Delta x$.

Масса почвы в теоретическом объеме $V_0 = S \cdot x$, имеющем плотность ρ_0 , равна m . После уплотнения почвы от объема V_0 (при плотности ρ_0) до сжатого объема V (при плотности $\rho > \rho_0$), сжатый объем почвы будет иметь ту же массу m (при допущении, что почва под рабочим органом только сжимается и не выносится из бороздки). Тогда можно записать, что

$$m = V_0 \cdot \rho_0 = V \cdot \rho, \text{ кг,}$$

откуда

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{V_0}{V} = \rho_0 \cdot \frac{S \cdot x}{S \cdot \Delta x} = \rho_0 \cdot \frac{x}{\Delta x}, \text{ кг/м}^3.$$

Для определения плотности ρ почвы после ее сжатия необходимо найти отношение $x/\Delta x$ в зависимости от свойств почвы и нагрузки на нее.

Воспользовавшись понятием коэффициента сжатия почвы, как величины, характеризующей изменение объема почвы при приложении к ней контактного давления от рабочего органа, и учитывая, что коэффициент сжатия – величина, обратная модулю упругости E почвы, после подстановок и преобразований получим, что

$$\frac{x}{\Delta x} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta p}{E}},$$

где Δp – контактное давление рабочего органа на почву, Па.

Тогда плотность ρ почвы после сжатия будет:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta p}{E}}, \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

где Δp – контактное давление рабочего органа на почву, Па.

Изменение величины сил сопротивления резанию почвы от скорости рабочего органа при различной глубине резания h показано на рис. 1.

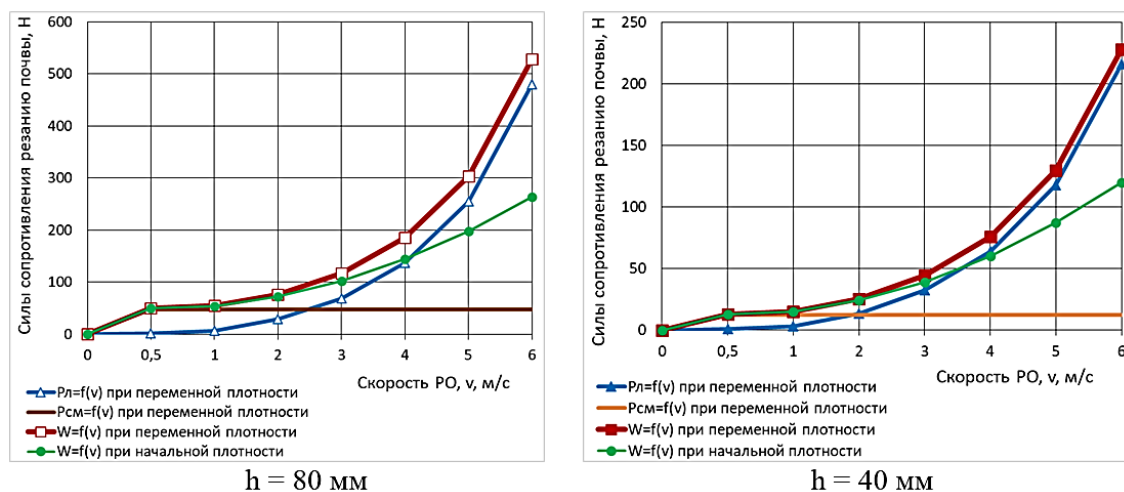


Рисунок 1. Изменение сил сопротивления резанию почвы

Примечание – составлено автором

На основе полученной формулы (1) для определения силы сопротивления резанию и известной скорости перемещения можно определить мощность, затрачиваемую на деформацию грунта рабочим органом:

$$N = W \cdot v = (k_c \cdot h \cdot b \cdot \rho \cdot v^2 + 0,5 \cdot q \cdot h^2 \cdot b) \cdot v, \text{ Вт.} \quad (3)$$

Оценим устойчивость глубины резания почвы дисковым рабочим органом, исходя из приведенных выше закономерностей процесса.

Сила W , действующая со стороны почвы на дисковый рабочий орган складывается из силы сопротивления почвы резанию W_1 (формула (1)) и направленной вверх вертикальной выглубляющей силы W_2 , способствующей уменьшению глубины посевной бороздки (рис. 2).

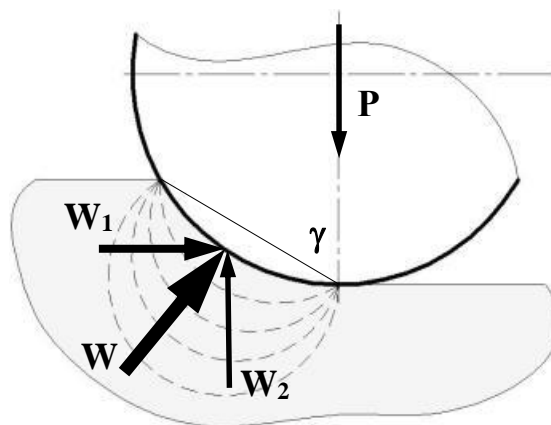


Рисунок 2. Схема для расчета выглубляющей силы W_2

Примечание – составлено автором

Выглубляющая сила W_2 определяется по формуле

$$W_2 = W \cdot \sin \gamma, H,$$

где $W = \frac{W_1}{\cos \gamma}$, Н; γ – передний отрицательный угол рабочего органа, град; $\gamma=90^\circ$ при

отсутствии заглубления (глубина резания $h=0$) и $\gamma=0^\circ$ при полном заглублении диска рабочего органа (глубина резания $h=d$); при глубине резания $h \leq d/2$ угол $\gamma = 90 \dots 45^\circ$.

Тогда

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} = W_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (4)$$

Выглубляющая сила W_2 (формула (4)) растет с повышением сопротивления резанию и переднего отрицательного угла рабочего органа.

Меры по снижению силы сопротивления и энергоемкости процесса и стабилизации глубины резания. Для решения проблемы роста сопротивления резанию и энергоемкости, снижения стабильности глубины обработки почвы при увеличении скоростей рабочих органов можно применить дополнительное воздействие на почву, способствующее разрушению ядра уплотнения и снижению прочности почвы под рабочим органом (Vetrov Yu.A. – М.: Mashinostroyeniye, 2011; Zelenin A.N. – М.: Mashinostroyeniye, 2014; Dudkin M.V. Vestnik VKTU, № 4, 2022, Ust'-Kamenogorsk; Kim A.I. Vestnik VKTU. – Ust'-Kamenogorsk: EKTU, 2022; Astakhov V.S. - Minsk, 2019; Aduov M., Soil & Plant Science. – 2020; Dudkin M.V., Vestnik VKTU. № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk; Dudkin M.V., Bulletin of the VKTU, No. 3, 2023. – Ust'-Kamenogorsk; M. Doudkin, IRE.M.E., Vol 17, No 4, 2023).

Сообщение рабочему органу дополнительной вибрации может предотвратить образование перед ним уплотненного почвенного ядра, что позволит снизить силы сопротивления резанию, повысить скорость движения рабочего органа и стабилизировать глубину резания почвы.

Для проверки эффективности процесса вибрационного резания почвогрунтов дисковыми рабочими органами и его влияния на изменение силы сопротивления и глубины резания требуется проведение соответствующих экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования. Целью проведения экспериментальных исследований является:

– проверка гипотезы о причинах роста сил сопротивления и снижения стабильности глубины резания почвы при увеличении скорости движения дискового рабочего органа;

– проверка полученных теоретических зависимостей по определению величины сил сопротивления резанию с учетом изменения свойств почвы при увеличении скорости движения рабочего органа;

– проверка эффективности дополнительного вибрационного воздействия рабочего органа на почву для снижения сил сопротивления и стабилизации глубины резания почвы.

Исследования проводились при резании почвы рабочим органом без вибрации (статическое резание) и при резании почвы рабочим органом с дополнительными вибрационными колебаниями (вибрационное резание).

Глубина резания – 40 мм и 80 мм. Частота колебаний составляла 50 Гц (3000 колеб./мин), амплитуда колебаний – 5 мм. Повторяемость опытов, определяемая расчетом, – трехкратная.

При проведении экспериментальных исследований использовался натурный дисковый рабочий орган, дополнительно оснащенный инерционным вибровозбудителем и установленный на специально разработанный исследовательский стенд.

Стенд (рис. 3) состоит из грунтового лотка 1, тяговой тележки 2, на которую навешивается натуральный дисковый рабочий орган 3. Тяговый трос 4 подсоединен к тяговой тележке через электронный динамометр 5. Другим концом трос присоединен к барабану тягового двигателя, подключенного к многоканальному частотному регулятору скорости. На раме дискового рабочего органа закреплен инерционный генератор колебаний (вибратор) 6. Частота колебаний рабочего органа устанавливается частотным регулятором, амплитуда – изменением массы дебалансов и углом их установки и измеряется электронным виброметром (VT-27 или Baltech 1470), датчик которого подсоединяется к рабочему органу.

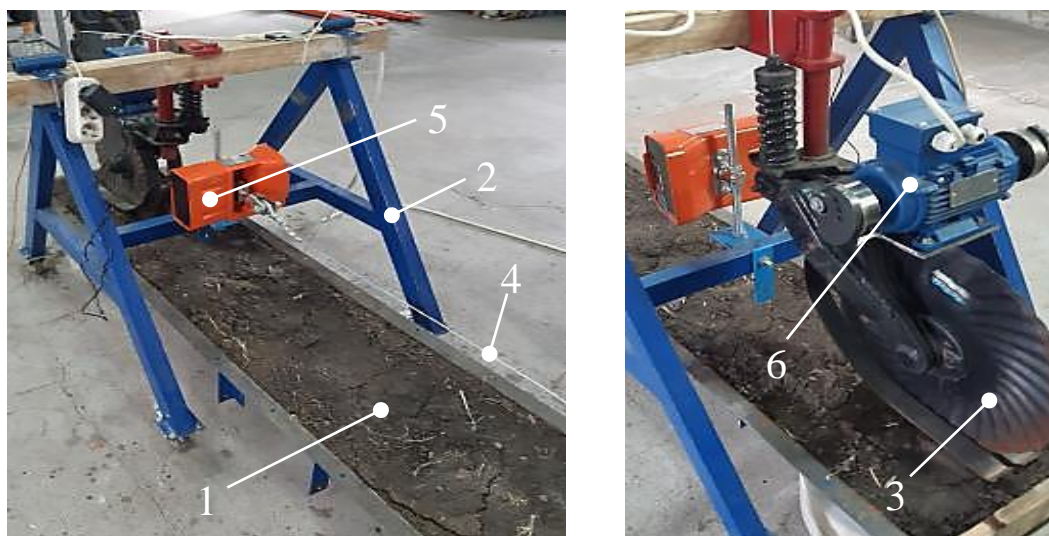


Рисунок 3. Экспериментальный стенд

Примечание – составлено автором

На исследовательском стенде проводился однофакторный эксперимент. Переменным фактором была скорость движения рабочего органа, а основным выходным параметром – тяговое сопротивление (сила тяги). Также определялось изменение глубины резания.

Согласно плану экспериментальных исследований проведено измерение тягового сопротивления дискового рабочего органа при статическом и вибрационном резании при изменении скорости движения рабочего органа. Результаты опытов обработаны в виде графиков, выражающих зависимость между тяговым сопротивлением и скоростью движения рабочего органа, а также отражающих относительные изменения тягового сопротивления.

В серии экспериментов исследовалось изменение величины силы сопротивления резанию от скорости движения дискового рабочего органа без применения вибрации (статическое резание). Исследования проводились при изменении скорости движения рабочего органа v от 0 до 3 м/с с шагом 0,5 м/с для глубины резания 40 мм и 80 мм.

Отклонения теоретической силы резания от экспериментальной при различных скоростях рабочего органа представлены на рис. 5, а.

Среднее отклонение теоретических значений сил сопротивления от экспериментальных не превышает 7 % при $h = 80$ мм и 16 % при $h = 40$ мм.

На основе результатов измерений силы сопротивления резанию была определена экспериментальная мощность статического резания, графическое отображение которой приведено на рис. 4.

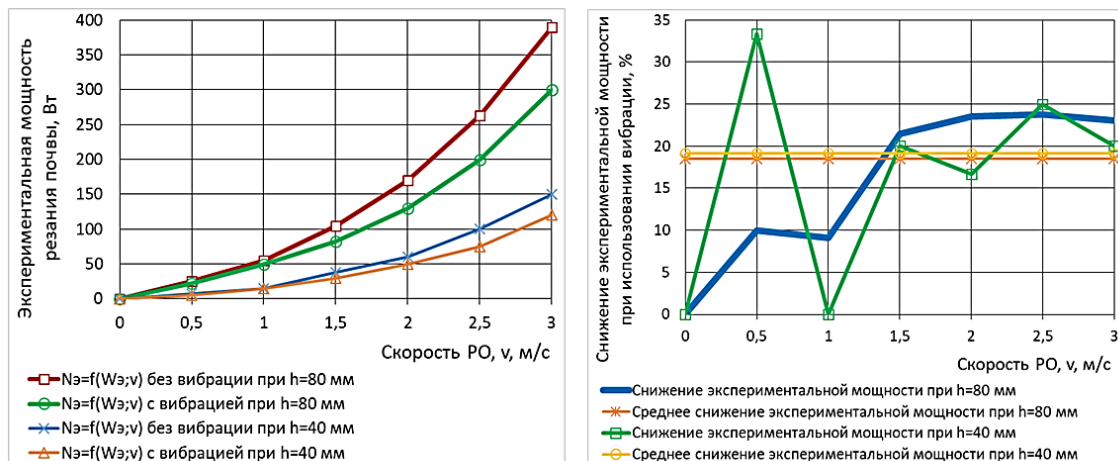


Рисунок 4. Изменение экспериментальной мощности резания

Примечание – составлено автором

Также исследования проводились при изменении скорости движения рабочего органа v от 0 до 3 м/с с шагом 0,5 м/с для глубины резания 40 мм и 80 мм при частоте круговых колебаний рабочего органа 50 Гц и амплитуде колебаний $a = 5$ мм.

Отклонения экспериментальной силы вибрационного резания от экспериментальной силы статического резания при различных скоростях рабочего органа представлены на рис. 5, б.

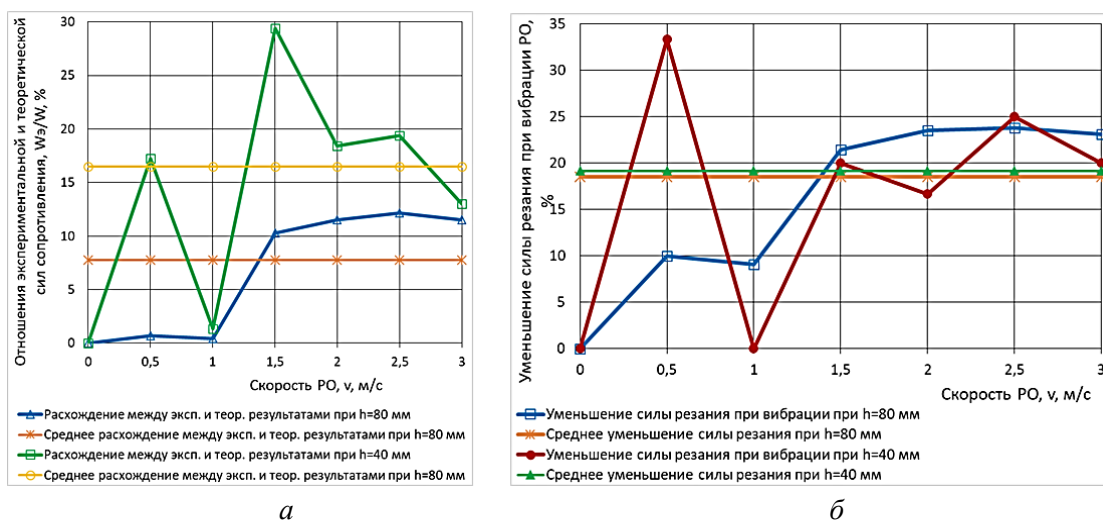


Рисунок 5. Отклонение теоретической силы сопротивления резанию от экспериментальной при статическом резании (а) и отклонение экспериментальной силы вибрационного резания от экспериментальной силы статического резания (б)

Примечание – составлено автором

В результате экспериментов установлено, что при сообщении дисковому рабочему органу дополнительных вибрационных колебаний тяговое усилие во всех случаях снижается. Вибрация рабочего органа позволила снизить тяговое сопротивление в среднем на 18 % при глубине резания 80 мм и на 19 % при глубине резания 40 мм. Это

хорошо согласуется с исследованиями других авторов, которые получали величину снижения силы сопротивления резанию в пределах от 12 % до 23 %.

Заключение и выводы. В результате исследований разработана теоретическая модель и получено уравнение, связывающее силы сопротивления резанию почвы дисковым рабочим органом с плотностью почвы и скоростью резания, объясняющие увеличение энергозатрат и снижение качества процесса резания при увеличении скорости резания.

Для снижения энергоемкости и повышения стабильности глубины резания при увеличении рабочих скоростей необходимо стремиться к уменьшению плотности почвы под рабочим органом, что достигается наложением на рабочий орган дополнительных вибрационных колебаний.

В результате экспериментов установлено, что при вибрационном резании дисковым рабочим органом, по сравнению со статическим резанием, сила сопротивления резанию снижается, а стабильность глубины резания возрастает и не выходит за пределы допустимого отклонения, что доказывает эффективность применения вибрации при резании почвы.

Эксперименты подтвердили адекватность полученной теоретической расчетной модели, основанной на гипотезе влияния прироста плотности и прочности почвы на сопротивление резанию и процесс выглубления при увеличении скорости резания. Полученная методика расчета и выбора параметров процесса резания почвы может быть использована при проектировании дисковых рабочих органов посевных агрегатов при дальнейшем повышении скоростей их движения.

Использование на посевных агрегатах модернизированных дисковых рабочих органов с дополнительными вибрационными колебаниями позволит снизить энергозатраты и повысить эффективность работы сельскохозяйственной техники.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Исследования и разработка данного технического решения финансируются Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК (грант AP14869252 «Разработка конструкции универсального посевного комплекса с повышенной производительностью для эксплуатации в условиях агропромышленного производства Республики Казахстан» по договору 217/30-22-24 от 18.11.2022 г.).

Список литературы

- Сельскохозяйственная техника и технологии / Под редакцией И.А. Спасина. – М.: Колос, 2006. – 682 с. // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika i tekhnologii / Pod redakciej I.A. Spasina. – М.: Kolos, 2006. – 682 s.
- Пименов А.В. Выбор сеялки прямого посева // Аграрный консультант. 2013. № 1 (6). – С. 14-16./ Pimenov A.V. Vybor seyalki pryamogo poseva // Agrarnyy konsul'tant. 2013. № 1 (6). – S. 14-16.
- Инновационные разработки дисковых сошников для посевных агрегатов / В.Р. Петровец [и др.]. – Горки: БГСХА, 2019. – 316 с. – ISBN 978-985-467-926-6./ Innovatsionnyye razrabotki diskovykh soshnikov dlya posevnykh agregatov / V.R. Petrovets [i dr.]. – Gorki: BGSKHA, 2019. – 316 s.
- Булавинцев Р.А. Анализ конструкций сошников современных сеялок для прямого посева сельскохозяйственных культур // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 2 (19). – С. 85-91 / Bulavintsev R.A. Analiz konstruktсий soshnikov sovremennykh seyalok dlya pryamogo poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur // Agrotekhnika i energoobespecheniye. – 2018. – № 2 (19). – S. 85-91.
- Панов И.М., Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 2017. – 357 с. / Panov I.M., Sineokov G.N. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin. – М.: Mashinostroyeniye, 2017. – 357 s.
- Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2008. – 376 с. / Zelenin A.N. Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami. Izd. 4-ye pererab. i dop. - М.: Mashinostroyeniye, 2008. – 376 s. 57.
- Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 2011. – 342 с. / Vetrov YU.A. Reziyaniye gruntov zemleroynymi mashinami. – М.: Mashinostroyeniye, 2011. – 342 с.

- Зеленин А.Н. Физические основы теории резания грунтов. – М.: Машиностроение, 2014. – 338 с. / Zelenin A.N. Fizicheskiye osnovy teorii rezaniya gruntov. – M.: Mashinostroyeniye, 2014. – 338 s.
- Дудкин М.В., Вавилов А.В., Ким А.И., Гурьянов Г.А., Млынчак М. Анализ тенденций развития посевных комплексов, их основных узлов и агрегатов // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, № 4, 2022. – Усть-Каменогорск. – С. 75-85. DOI 10.51885/1561-4212_2022_4_75/ Dudkin M.V., Vavilov A.V., Kim A.I., Gur'yanov G.A., Mlynchak M. Analiz tendentsiy razvitiya posevnykh kompleksov, ikh osnovnykh uzlov i agregatov // Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbayeva, № 4, 2022. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 75-85.
- Kim A.I., Doudkin M.V., Rogovsky V.V., Doudkina Ye.L., Mlynchak M. Review and analysis of existing designs of seeding machines // Vestnik VKTU named after D. Serikbayev. – Ust-Kamenogorsk: EKTU, 2022. – № 4. – P. 130-139.
- Астахов В.С., Петровец В.Р. Блочно-модульный метод построения широкозахватных посевных агрегатов // Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии, № 2, 2019./ Astakhov V.S., Petrovets V.R. Blochno-modul'nyy metod postroyeniya shirokozahvatnykh posevnykh agregatov // Vestnik belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, № 2, 2019.
- Aduov M., Nukusheva S., Kaspakov E., Isenov K., Volodya K. and Tulegenov T. Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan // Acta agriculturae scandina-vica, Section B: Soil & Plant Science. – 2020. – VOL. 70, No. 6. – P. 525-531. – <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784994>.
- Дудкин М.В., Ким А.И., Яковлев В.С., Роговский В.В., Вавилов А.В., Гурьянов Г.А., Курмангалиев Т.Б., Млынчак М. Обоснование конструкции и разработка новой комбинированной посевной секции для работы в условиях агропромышленного комплекса Казахстана // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, № 2, 2023. – Усть-Каменогорск. – С. 60-73. DOI 10.51885/1561-4212_2023_2_60/ Dudkin M.V., Kim A.I., Yakovlev V.S., Rogovskiy V.V., Vavilov A.V., Gur'yanov G.A., Kurmangaliyev T.B., Mlynchak M. Obosnovaniye konstruksii i razrabotka novoy kombinirovannoy posevnoy seksii dlya raboty v usloviyakh agropromyshlennogo kompleksa Kazakhstan // Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbayeva, № 2, 2023. – Ust'-Kamenogorsk. – S. 60-73.
- Дудкин М.В., Ким А.И., Яковлев В.С., Роговский В.В., Вавилов А.В., Гурьянов Г.А., Курмангалиев Т.Б. Определение усилий и тягового сопротивления внедрению дисков сошников посевной секции в почву // Вестник ВКТУ имени Д. Серикбаева, № 3, 2023. – Усть-Каменогорск. – С. 158-175. DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_158/ Dudkin M.V., Kim A.I., Yakovlev V.S., Rogovsky V.V., Vavilov A.V., Guryanov G.A., Kurmangaliyev T.B. Determination of forces and traction resistance to the penetration of coulter disks of the sowing section into the soil // Bulletin of the VKTU named after D. Serikbaev, No. 3, 2023. - Ust-Kamenogorsk. – pp. 158-175.
- Mikhail Doudkin, Alina Kim, Vladimir Yakovlev, Valery Rogovskiy, Andrey Vavilov, Georgiy Gurianov, Timur Kurmangaliyev. Seeding Section Design Development and Determination of the Forces and Driving Resistance to the Penetration of its Disc Coulters into the Soil // International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.), Vol 17, No 4 (2023). P. 178-189. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireme.v17i4.23371>

Information about authors

Guryanov Georgiy – Ph.D., D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, gguryanov@ektu.kz, orcid.0000-0003-3657-3735. +7 777 282 55 39

Yakovlev Vladimir – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, vel1051@yandex.ru. +7 708 530 92 60

Dudkin Mikhail – t.s.d. (full doctor), D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, MDudkin@ektu.kz. Orcid 0000-0001-5732-0724. +77772821422

Kim Alina Igorevna – PhD, MIRAS University, Shymkent, Kazakhstan

Stryczek Piotr – PhD, Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland. e-mail: piotr.stryczek@pwr.edu.pl, ORCID: 0000-0001-5696-080X. +48 601 822 334

ЭНЕРГЕТИКА
ЭНЕРГЕТИКА
ENERGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_34
MFTAA 44.31.01

**А.Е. Естаулетова¹, А.Т. Байдилдина¹, Г.С. Дуйсембаева¹,
А.Т. Нурғалиева¹, М.Б. Естаулетов²**

¹КЕАҚ «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті»,
Өскемен қ., Қазақстан

*E-mail: ainur_92uka@mail.ru**

E-mail: azhaparova@edu.ektu.kz

E-mail: gdyusembaeba80@mail.ru

E-mail: nurgalieva_asel@mail.ru

²«Шығыс жылу» АҚ

E-mail: merei_0701@mail.ru

**«ШЫҒЫС ЖЫЛУ» АҚ № 2 ҚАЗАНДЫҚТЫҢ МЫСАЛЫНДА
АТМОСФЕРАҒА ШЫҒАРЫЛАТЫН ЗИЯНДЫ ШЫҒАРЫНДЫЛАРДЫ АЗАЙТУ
МАҚСАТЫНДА ШАҢ ГАЗ АҒЫНЫНА МЕХАНИКАЛЫҚ ӘСЕР ЕТУ**

**МЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЫЛЕГАЗОВЫЙ ПОТОК
С ЦЕЛЮ ПОНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ,
НА ПРИМЕРЕ КОТЕЛЬНОЙ № 2 АО «ШЫҒЫС ЖЫЛУ»**

**MECHANICAL IMPACT ON THE DUST AND GAS FLOW IN ORDER
TO REDUCE EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE, ON THE EXAMPLE
OF BOILER ROOM № 2 OF JSC «EAST HEAT»**

Аңдатпа. Мақалада Өскемен қаласының № 2 қазандығының шығарындыларына, яғни шаң газ ағынын механикалық әсер арқылы зиянды заттарды азайту. Соңғы онжылдықтағы жағымсыз тенденция көбінесе энергетика мен өнеркәсіпте көмірді пайдаланудың кеңею салдары болып табылады. Көміртегі шығарындыларынан басқа, қазба байлықтарын қолдану әртүрлі ауа ластағыштарды, соның ішінде күкірт диоксиді, азот оксидтері, қатты бөлшектер, көміртек тотығы және ұшқыш органикалық қосылыстардың шығарындылары ауаға тарайды. № 2 қазандық органикалық отын ретінде «Қаражыра» кен орнында өндірілетін Семей қаласының тас көмірін қолданады. Бұл көмірдің күлділігі шамамен 19,8 % құрайды.

Түйін сөздер: Механикалық әсер, шығындылар, жиынтық циклондар, скрубберлер, қос механикалық әсер, ылғалды тазалау жүйесі, құрғақ тазалау жүйесі.

Аннотация. В статье рассматривается, что снижение выбросов котельной № 2 г. Усть-Каменогорск, т.е. вредных веществ происходит за счет механического воздействия на пылегазовый поток. Негативная тенденция последнего десятилетия часто является следствием расширения использования угля в энергетике и промышленности. Помимо выбросов углерода, использование ископаемого топлива также может привести к выбросу различных загрязнителей воздуха, в том числе диоксида серы, оксидов азота, твердых частиц, окиси углерода и летучих органических соединений. В котельной № 2 в качестве органического топлива используется каменный уголь г. Семей, добываемый с месторождения «Каражыра». Зола этого угля составляет около 19,8 %.

Ключевые слова: Механическое воздействие, потери, батарейные циклоны, скрубберы, двойное механическое воздействие, система влажной очистки, система сухой очистки.

Abstract. The article considers that the reduction of emissions of boiler house No. 2 of Ust-Kamenogorsk, i.e. harmful substances occurs due to mechanical action on the dust and gas flow. The negative trend of the last decade is often a consequence of the expansion of the use of coal in energy and industry. In addition to carbon emissions, the use of fossil fuels can also lead to the release of various air

pollutants, including sulfur dioxide, nitrogen oxides, particulate matter, carbon monoxide and volatile organic compounds. The boiler room No. 2 uses coal from Semey, extracted from the Karazhyra deposit, as organic fuel. The ash of this coal is about 19.8%.

Keywords: *Mechanical impact, losses, battery cyclones, scrubbers, double mechanical impact, wet cleaning system, dry cleaning system.*

Kіріспе. Берілген мақалада «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының жұмыс істеу тиімділігін күл шығарындылары азайту есебінде арттыруды қарастырамыз.

Отынның түрі және оның жану режимі пайда болатын зиянды заттардың құрамына айтарлықтай әсер етеді. Қазандық қондырғылары мен ЖЭО отын ретінде қатты, сұйық және газ тәрізді отын түрлері қолданылады (Кормина, 2019).

Соңғы онжылдықтағы жағымсыз тенденция көбінесе энергетика мен өнеркәсіпте көмірді пайдаланудың кеңею салдары болып табылады. Көміртегі шығарындыларынан басқа, қазба байлықтарын қолдану әртүрлі ауа ластағыштарды, соның ішінде күкірт диоксиді, азот оксидтері, қатты бөлшектер, көміртек тотығы және ұшқыш органикалық қосылыстардың шығарындылары ауаға тарайды (Ramesh P. Singh (2021)

№ 2 қазандық органикалық отын ретінде «Қаражыра» кен орнында өндірілетін Семей қаласының тас көмірін қолданады. Бұл көмірдің күлділігі шамамен 19,8 % құрайды. № 2 қазандықта тас көмірді жағу Е-50-14 маркалы қазандықтарда жүзеге асырылады. Бұл қазандықтарда көмір шаң түрінде жағылады. 2017 жылы 19 тұрғын ауданын қосу жобасы әзірленгендіктен қазандықтарға жүктеме артты. Ауаның сыртқы температурасына байланысты қатарлас 2 немесе 3 қазандық қондырғылары жұмыс жасайды. Оның ішінде бір қазандық қондырғысы міндетті түрде күл шаңын дымқыл тазалауды, ал қалғаны химиялық тазалауды жүзеге асырады.

Осы мақсатта атмосфераға шығарылатын ластаушы заттардың концентрациясын төмендету үшін қазандық қондырғыларынан шығатын күл шаңының шаң-газ ағынына механикалық әсер ету нәтижелері тәжірибелік түрде көрсетіледі. Күл жинау қондырғысының сынақ жұмыстары барлық қажетті есептеулер мен өлшемдер жылу электр станцияларының күл жинағыш қондырғылары үшін Сынақ Әдістемесіне сәйкес жүргізілді.

Материалдар және зерттеу әдістері. Қазандықтардан атмосфераға зиянды заттар концентрациясының түрлері мен мөлшерін қарастырып кетейік. Өскемен қаласында өнеркәсіптің өте жақсы дамығандығына байланысты, Шығыс Қазақстанның индустриялық бағыты қоршаған ортаға әсер етеді.

«ШҚО бойынша экология департаменті» РММ деректеріне сүйене келсек, облыс бойынша қоршаған ортаға эмиссияларын жүзеге асыратын 788 кәсіп орын жұмыс жасайды. Тұрақты көздерден ластаушы заттардың жалпы шығарындылары 130,6 мың тонна болып табылады, оның 77,1 мың тоннасы 1 санаттағы объектілерге сәйкес, басқа санаттар – 53,5 мың тонна.

Өскемен қаласында атмосфералық ауа сапасына жүргізілген мониторингтің 2023 жылдың 1 жарты жылдық нәтижелері. Өскемен қаласының бақылау желісінің деректері бойынша атмосфералық ауаның ластану деңгейі жоғары деп бағаланды, ол № 4 бекет (Широкая к., 44) ауданында күкірт диоксиді бойынша СИ=6,9 (жоғары деңгей) ЕЖҚ=10 % (көтеріңкі деңгей) күкірт сутегі № 3 бекет (Серікбаев к., 19) мәндерімен анықталды. Ең жоғары бір реттік шоғырларды: күкірт диоксиді – 6,9 ШЖШм.б., көміртегі оксиді – 2,3 ШЖШм.б., күкіртті сутегі – 4,1 ШЖШм.б құрады, басқа ластаушы заттар бойынша ШЖШ-дан асып кету байқалмады (ҚАЗГИДРОМЕТ, 2023).

Нақты мәндер, сондай ақ сапа стандарттарынан асып кету жиілігі мен асып кету жағдайларының саны 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте. Атмосфералық ауаның ластану сипаттамасы

| Қоспа | Орташа шоғыр | | Ең жоғары бір реттік шоғыр | |
|---------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | мг/м ³ | ШЖШ _{о.т.} асу еселігі | мг/м ³ | ШЖШ _{о.т.} асу еселігі |
| PM-2,5 қалқыма бөлшектері | 0,002 | 0,06 | 0,109 | 0,68 |
| PM-10 қалқыма бөлшектері | 0,002 | 0,04 | 0,109 | 0,68 |
| Күкірт диоксиді | 0,024 | 0,49 | 3,467 | 6,93 |
| Көміртегі оксиді | 0,464 | 0,15 | 11,72 | 2,34 |
| Азот диоксиді | 0,060 | 1,50 | 0,198 | 0,99 |
| Азот оксиді | 0,009 | 0,15 | 0,300 | 0,75 |
| Озон | 0,045 | 0,49 | 0,132 | 0,82 |
| Күкіртті сутегі | 0,045 | | 0,033 | 4,13 |
| Фенол | 0,003 | 0,55 | 0,005 | 0,50 |
| Формальдегид | 0,002 | 0,11 | 0,008 | 0,16 |
| Күкірт қышқылы | 0,006 | 0,06 | 0,030 | 0,10 |
| Фторлы сутек | 0,004 | 0,76 | 0,009 | 0,45 |
| Хлорлы сутек | 0,043 | 0,43 | 0,130 | 0,65 |
| Бенз(а)пирен | 0,0005 | 0,50 | | |
| Хлор | 0,010 | 0,33 | 0,060 | 0,60 |
| Қорғасын | 0,00153 | 0,5 | | |
| Кадмий | 0,000042 | 0,1 | | |
| Мырыш | 0,000549 | 0,01 | | |
| Мыс | 0,000023 | 0,01 | | |
| Бериллий | 0,000000089 | 0,01 | | |

Ескерту – (ҚАЗГИДРОМЕТ, 2023) авторлар негізінде құрастырылған

Атмосфералық ауаның негізгі ластанушылары – SO₂, NO_x, CO₂ және күл. Олар қатты отынның жану процесінде пайда болады.

Ауаны шаң мен газ тәрізді ластанушы заттардан тазарту үшін қолданылатын әдістер және тазартудың қажетті тиімділігі ең алдымен санитарлық және технологиялық талаптармен анықталады және қоспалардың физикалық-химиялық қасиеттеріне, реагенттердің құрамы мен белсенділігіне және тазалау үшін қолданылатын құрылғылардың конструктивті шешіміне байланысты. Осыған байланысты қолданылатын тазарту әдістері өте алуан түрлі және құрылғылардың дизайнында да, залалсыздандыру технологиясында да ерекшеленеді.

Тазалаудың негізгі әдістері:

Шаңдардан –циклондар (құрғақ шаң тазалау), скрубберлар (ылғалды шаң тазалау), сүзгілер, электросүзгілер.

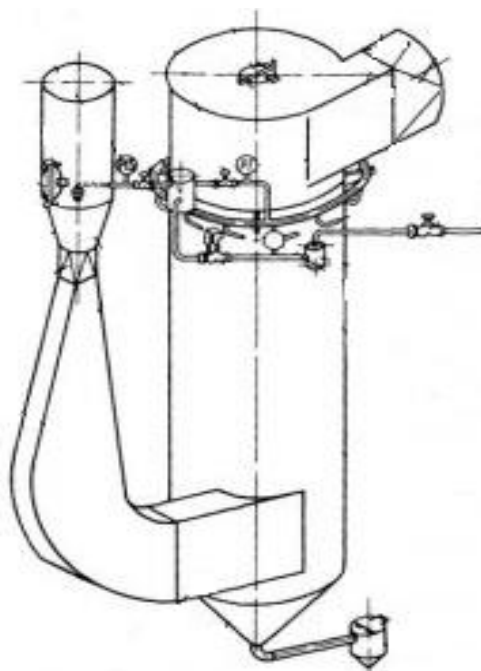
Тұманнан – тұман ұстағыштар мен патрондық сүзгілер.

Газ-бу қоспаларынан – абсорбция, адсорбция, хемосорбция, термиялық және каталитикалық жою (Сайфулин, 2020).

Нәтижелері және оларды талқылау. № 2 қазандықта жоғарыда айтылған әдістердің ішінен шаңдардан скрубберлар мен циклондар қолданылады. Ылғалды шаң тазалау қондырғылары немесе скрубберлар, 0,3-1,0 мкм болатын ұсақ дисперсиялы шаң бөлшектерін тазалауда өте тиімді. Жұмыс істеу принципі тамшылардың беттерінде немесе сұйықтық үлдірінде шаң бөлшектерінің шөгуіне негізделген. Шөгу беті ретінде су (шаңан

тазалауда) немесе химиялық ерітінді (шаңмен бірге газ тәрізді зиян компоненттерді ұстау кезінде) қолданылады (Арустамов, Волощенко, Косолапова, 2022).

Білғалды тазалау жүйесінде көбінесе Вентури құбыры мен скруббер қолданыс тапқан. Скруббер Вентури сұйықтық пен шаң тозаң бөлшектерді тар алқынан өткізу арқылы жылдамдықты жоғарлатып қысымын төмендетеді және осы қоспа турбулентті ағынмен ғабырға бетіне шөгіп қалады (Gargy P, 2021). 1-суретте Вентури құбыры мен скруббер көрсетілген. Өндірісте үш түрлі скруббер қолданады. Біріншісі – қарама қарсы ағынды саптама қабаты бар көлденең скрубберлер: пайдаланылған ауа саптама арқылы көлденең өтеді, ал рециркуляциялық тазалау ерітіндісі саптама арқылы төмен қарай ағып кетеді. Екіншісі – саптама қабаты бар тік кері ағынды скрубберлер: пайдаланылған ауа саптама арқылы жоғары қарай ағып кетеді, ал рециркуляциялық тазалау ерітіндісі төмен қарай ағып кетеді. Үшіншісі – саптама қабаты бар тік ағынды скрубберлер: пайдаланылған ауа рециркуляциялық жуу ерітіндісімен бірге төмен қарай ағады (Sherer, 2018).



1-сурет. Вентури құбыры және скруббер, шығатын газдардың тангенциалды кірісі
Ескерту – (Sherer, 2018) автор негізінде құрастырылған

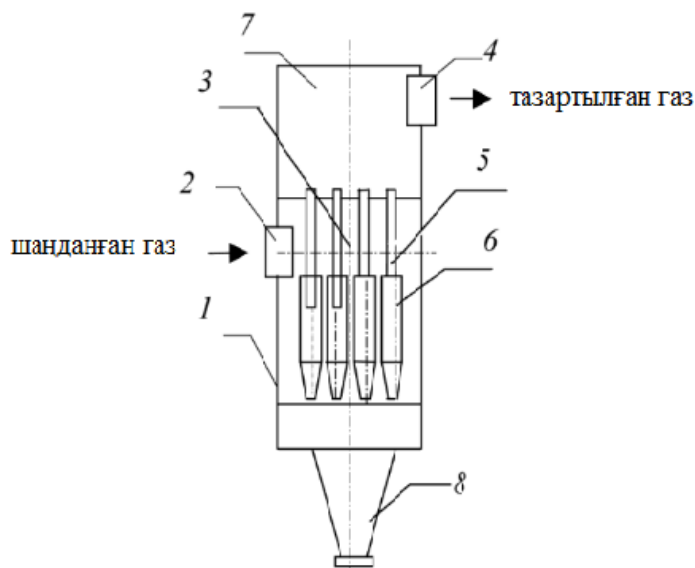
Күл ұстағыш (аппарат) келесі негізгі бөліктерден тұрады:

- конустық түбі бар корпустар;
- кіріс құбыры;
- тазартылған газ қорабы;
- суару саптамалары;
- күл целлюлозасын кетіруге арналған құбырлар мен су төгетін құбырлар.

Аппараттың корпусы тігінен орнатылған түбі жайма болаттан жасалған конустанған дәнекерленген цилиндр. Кіріс қорабы корпустың төменгі жағына тангенциалды түрде дәнекерленген. Корпустың жоғарғы бөлігі тазартылған газ құбырына қосылған (ИЭ, 2023). Осы қондырғылардың жұмыс істеу принципі шаңды түтін газдары Вентури құбырының конфузорлы бөлігіне кіріс келтеқұбыры арқылы түседі, онда газ ағынының

жылдамдығы 50-60 м/сек дейін артады. Сапатама арқылы қылта алдында түтін газдарының ағынына су шашырайды. Түтін газдарына ілінген күл бөлшектері, ең кішкентай су бөлшектерімен соқтығысып, суланады. Ауыз алдында түтін газдарының ағынына сапатама арқылы су құйылады. Түтін газдарында ілінген күл бөлшектері ең кішкентай су тамшыларымен соқтығысып, суланады. Құбырдың диффузорлық бөлігінде газ ағынының жылдамдығы 20 м/с дейін төмендейді және суланған күл бөлшектері үлкейеді. Құбырдан газдар ағыны скруббер корпусының төменгі бөлігіне тангенциалды түрде түседі, соның арқасында газдар айналмалы қозғалыспен байланысады және ортадан тепкіш күштің әсерінен күл бөлшектері корпустың ішкі суармалы бетіне басылады және скрубберлердің тік бөлігінде орналасқан суару саптамаларынан келетін су пленкасымен ұсталады. Күлі бар су корпус арқылы скруббердің төменгі корпусына ағып кетеді, сол жерден «шәйне» типті гидроқақпақ арқылы арнамен қалдық жинағышқа жіберіледі, содан кейін қалдық сорғысымен багердің күлшығарғыш науасына жіберіледі. Тазартылған түтін газдары жинау келтекұбыры арқылы түтін сорғышпен сорылады және биіктігі 180 м түтін құбырына шығарылады (ИЭ, 2023).

Сонымен қатар күл ағынына жиынтық циклондары БЦР – 250/60+60 механикалық әсер етеді. Циклондар газдан ірі бөлшектерді ортадан тепкіш күш арқылы ажыратады (Bizhanov, Chizhikova, 2019). Циклондар үлкен фракциялы күл бөлшектерін жақсы ұстайды, ұсақ бөлшектерін – нашар. Олар 50-80 % дейін күлді ұстап қалады (Luapin, Parinov & Buravchuk, 2020). Жиынтық циклондар ондаған, жүздеген қатар қосылған циклондардан тұрады. Жиынтық элементінің диаметрінің кішірейуі тазарту тиімділігін арттырады. 2-суретте жинақтық циклондардың сұлбасы келтірілген.



2-сурет. Жиынтық циклон: 1 – корпус; 2 – кіргізетін келтекұбыр;
3 – таратқыш камера; 4 – шығаратын келтекұбыр; 5 – шығару құбырлары;
6 – циклон элементі; 7 – шығару камерасы; 8 – шанап

Ескерту – (Быков, 2022) автор негізінде құрастырылған

Шанданған газ бірыңғай коллектор арқылы кіреді де, кейін циклон элементтері арасында таралады. Ортадан тепкіш күш арқасында қатты бөлшектер циклонның қабырғасына итеріліп, жылдамдығын азайтып, шанапқа түседі. Тазартылған газ шығару камерасы арқылы мұржаға шығарылады (Быков, 2022).

Енді шаң газ ағынына механикалық әсер ету бойынша сынақтық зерттеулер жұмыстарын сипаттап өтейік. № 2 қазандықта КВТС-50 СТ. № 1 қазандық агрегаты БЦР – 150у-640-400 циклонымен, Е-50-40/14 ст. № 2,3 қазандық агрегаттары – дымқыл күл ұстау жүйесімен, Е-50-40/14 ст. № 4,5 қазандық агрегаттары – БЦР-2-7х(5х3) циклондарымен жабдықталған.

Тұрақты көздерден шығатын газдардағы шығарындылардан сынама алу, қондырғылардың белгіленген технологиялық режимі кезінде жұмыс жасап тұрған сәтінде алынуы тиіс (Квагинидзе, Корецкая, 2022).

Тұрақты көздерден шығатын газдардағы шығарындыларды өлшеу үшін қажетті жабдықтар:

1. Электр аспираторы ПУ-4Э – санитарлық және экологиялық бақылау жүргізу мақсатында, ауа, бу және аэрозоль сынамаларын (жұмыс аймағында, атмосфералық және өнеркәсіптік шығарындыларында) автоматты түрде алуға арналған.



3-сурет. Электр аспираторы ПУ-4Э

Ескерту – «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының негізінде құрастырылған

2. Шаң жинайтын түтік – тұрақты ластану көздерінен шығатын шаң газ ағындарының шаңдану мөлшерін анықтауға арналған. Сынама алу түтігінің ұшы газ ағынына бағытталуы тиіс, және ұшы қабылдау түтігінің кіріс саңылауындағы газдың жылдамдығы өлшенетін нүктедегі газ дисперсті ағынның жылдамдығына тең болатындай етіп ашық саңылауы болуы керек, осылайша іріктеудің изокинетикасын қамтамасыз етеді. Бұл ретте ұшты іріктеу аймағы газ ағынының тежеу аймағынан тыс болуы тиіс. Осы талаптарды орындау дисперсті бөлшектердің зонд түтігіне ағынның түсуіне байланысты тежеу аймағынан туындайтын жылдамдық өрісінің бұрмалануынсыз газ ағынымен бірге ұштық тесікке еркін енуіне мүмкіндік береді (Жмыхов, Челноков, Мирончик, 2021). Үлгінің байыптылығын қамтамасыз ету үшін негізгі газ ағынының бағытына қатысты шаң жинағыш түтіктің тесігінің дұрыс орналасуы да маңызды (Алехнович, 2023).

3. Газ ағынының параметрлерін қалыпты жағдайға келтіру үшін, сондай-ақ электроаспираторды ылғалдан қорғау үшін термометрден, тартқыштан және тамшы ұстағыштан тұратын планшет.

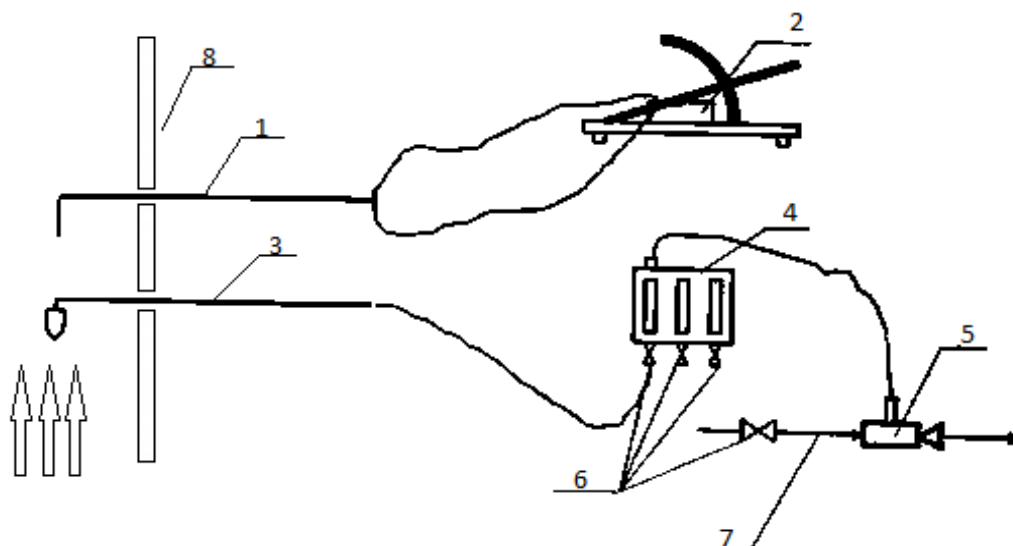
4. Ауыстырылатын сүзгілер жиынтығы (НИИОГАЗ патрондары).



4-сурет. Шаң жинайтын түтік

Ескерту – «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының негізінде құрастырылған

5. Механикалық секундомер.
 6. Шығатын газдар шығарындыларының көлемін өлшеуге арналған цифрлық ДМЦ-01М дифференциалды манометрі.
 7. Дифманометрге арналған НИИОГАЗ түтігі.
 8. 0-300 °С термометр.
 9. Қоршаған орта параметрлерін өлшеуге арналған МЭС Метеометрі.
- Зертханада немесе басқа бөлмеде кейінгі талдау үшін:
10. Аналитикалық таразы.
 11. Кептіру шкафы.



5-сурет. Күл ұстау қондырғысын сынау кезіндегі өлшеу сызбасы:

- 1 – қысымды құбыр; 2 – микроанометр; 3 – сынама алу түтігі; 4 – ротаметр; 5 – ауа эжекторы;
6 – басқару клапандары; 7 – сығылған ауа желісі; 8 – газ құбырының қабырғасы

Ескерту – «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының негізінде құрастырылған

Өлшеулерден кейін «Шығыс жылу» АҚ кәсіпорны № 2 қазандығының № 4 ст. Е – 50 – 40/14 қазандық агрегатынан БЦР – 250/60+60 батарея циклонымен түтін газдарын тазарту, шаң ұстау қондырғысының тиімділігін тексеру актісі жасалды. Көрсеткіштер 2-кестеде келтірілген.

**2-кесте. № 4 ст. Е – 50 – 40/14 қазандық агрегатынан
БЦР – 250/60+60 шаң жинағыш қондырғысының тиімділігін тексеру актісі**

| Газдардың сипаттамасы. Орнату параметрлері. Өлшеу нүктелері | | Көрсеткіштер | | |
|--|-------------------|--------------|-----------|--------|
| | | Жобалық | Іске қосу | Нақты |
| Газдардың температурасы, °С | кіру (сол жақ) | 400 °С дейін | 180 | 172 |
| | кіру (оң жақ) | | 175 | 170 |
| | шығу | | - | 140 |
| Газдардың қысымы, мм су.бағ. | кіру (сол жақ) | - | -55 | -52 |
| | кіру (оң жақ) | - | -45 | -50 |
| | шығу | - | -110 | -110 |
| Газ шығыны, нм ³ / сағ | кіру (сол жақ) | 98000 | 25166 | 23100 |
| | кіру (оң жақ) | | 25082 | 24050 |
| | Барлығы барысында | - | 50248 | 47150 |
| | шығу | - | 52420 | 49035 |
| Шаңдану | кіру (сол жақ) | 75,0 | 23,786 | 11,840 |
| | кіру (оң жақ) | | 23,318 | 11,520 |
| | шығу | - | 5,012 | 4,5 |
| Қондырғы кедергісі мм су.бағ | | - | 60 | 60 |
| Ауаны саңылаулық тарту, % | | - | 4,1 | 4,0 |
| Қондырғы ПӘК, % | | - | 77,8 | 79,9 |

Ескерту – «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының негізінде құрастырылған

Тексеру нәтижелері бойынша қорытындылар: қондырғы тиімді жұмыс істейді.

Енді Е – 50 – 40/14 СТ. №4 қазандық агрегатының тиімді жұмыс атқаруы үшін БЦР – 250/60+60 циклонын ЦН – 15 Ø500 4 циклон топтарынан тұратын, қайта айналу сызығы бар БЦ – 512 – 2 – (6х6) циклонына ауыстыру жүргізілді. Шаңды ағын циклонның элементіне бұрандалы бағыттауышқа түсіп, айналмалы қозғалысқа келеді.

Өлшеу әдістері барлық құрғақ күл ұстағыш қондырғылар үшін бірдей жүргізіледі. 6,7-суреттерде қайта айналу сызығы бар батарея циклонына дейін және одан кейінгі газ ағынының шаңдануын өлшеу нүктелері көрсетілген.

Өлшеулерден кейін Е – 50 – 40/14 ст. № 4 қазандық агрегатының ЦН – 15 Ø500 қайта айналу желісімен БЦ – 512 – 2 – (6х6) шаң жинағыш қондырғысының тиімділігін тексеру актісі жасалды, көрсеткіштер 2-кестеде келтірілген.



6-сурет. Жинақтық циклонына дейінгі сынама алу нүктесі
(БЦ – 250/60+60) – қайта айналу сызығымен

Ескерту – «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының негізінде құрастырылған



7-сурет. Жинақтық циклонынан кейінгі сынама алу нүктесі
(БЦ – 250/60+60) – қайта айналу сызығымен

Ескерту - «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының негізінде құрастырылған

3-кесте. ЦН – 15 Ø500 қайта айналу желісімен БЦ– 512 – 2 – (6x6)
шаң жинағыш қондырғысының тиімділігін тексеру актісі

| Газдардың сипаттамасы. Орнату параметрлері. Өлшеу нүктелері | | Көрсеткіштер | | |
|---|-------------------|--------------|-----------|--------|
| | | Жобалық | Іске қосу | Нақты |
| Газдардың температурасы, °С | кіру (сол жақ) | 400 °С | 180 | 170 |
| | кіру (оң жақ) | дейін | 175 | 165 |
| | шығу | - | 140 | 135 |
| Газдардың қысымы, мм су.бағ. | кіру (сол жақ) | - | -70 | -85 |
| | кіру (оң жақ) | - | -75 | -80 |
| | шығу | - | -145 | -140 |
| Газ шығыны, нм ³ / сағ | кіру (сол жақ) | 98000 | 29820 | 31000 |
| | кіру (оң жақ) | | 26162 | 27200 |
| | Барлығы барысында | - | 55982 | 58200 |
| | шығу | - | 57764 | 56382 |
| Шаңдану | кіру (сол жақ) | 25,0 | 19,786 | 11,840 |
| | кіру (оң жақ) | | 19,318 | 11,520 |
| | шығу | - | 3,012 | 1,204 |
| Қондырғы кедергісі мм су.бағ | | - | 112 | 112 |
| Ауаны саңылаулық тарту, % | | - | 3,2 | 2,4 |
| Қондырғы ПӘК, % | | - | 91,9 | 93,4 |
| <i>Ескерту – «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандығының негізінде құрастырылған</i> | | | | |

Тексеру нәтижелері бойынша қорытындылар: қондырғы тиімді жұмыс істейді.

Қорытынды. Сынақ нәтижелері бойынша газды қайта айналу жүйесі бар жаңадан орнатылған күл ұстағыш қондырғының көрсеткіштері оңтайлы болғанын көрсетті. Күл шаңын шығару бойынша өлшеулер жүргізілді және күл ұстайтын қондырғының тиімділігі 93,4 % құрады, яғни атмосфераға күл шаңының шығарындылары азайды.

Әдебиеттер тізімі

- Aitber Bizhanov, Valentina Chizhikova (2019). Agglomeration in Metallurgy. Springer International Publishing. – Pp. 454.
- Alexander A. Lyapin, Ivan A. Parinov, Nina I. Buravchuk, Alexander V. Cherpakov, Ol'ga V. Shilyaeva, Ol'ga V. Guryanova. (2020). Improving Road Pavement Characteristics – Applications of Industrial Waste and Finite Element Modelling. Germany: Springer International Publishing. – Pp. 236.
- Garry P. (2021). Isaacs Standing Up to the Coup. Garry P. Isaacs – 2021. – Pp. 198.

- Ramesh P. Singh (2021). Asian Atmospheric Pollution: Sources, Characteristics and Impacts, 580, <https://doi.org/10.1016/C2017-0-04174-5>
- Sherer, J.M. (2018). Semiconductor Industry: Wafer Fab Exhaust Management. USA: CRC Press.
- Алехнович А. (2023). Распределение воздуха и топлива по горелкам котлов: монография. – Москва; Вологда: Инфра – инженерия. – 128 // Alehnovich A. (2023). Raspredelenie vozduha i topliva po gorelkam kotlov: monografija. – Moskva; Vologda: Infra – inzhenerija. – 128.
- Быков А.П. (2022). «Инженерная экология. Часть 2. Основы экологии производства». Россия: Лит.Рес., 156 // Выков А.Р. (2022). «Inzhenernaja jekologija. Chast' 2. Osnovy jekologii proizvodstva». Rossija: Lit.Res., 156.
- Жмыхов И.Н., Челноков А.А., Мирончик А.Ф.(2021). Инженерные методы охраны атмосферного воздуха. Россия: ЛитРес, 399 // Zhmyhov I.N., Chelnokov A.A., Mironchik A.F. (2021). Inzhenernyye metody ohrany atmosfernogo vozduha. Rossija: LitRes., 399.
- ИЭ 10.07-02-02.23 интегрированная система управления. Котельная № 2 система золоудаления и золоудаления котлоагрегатов ст. № 2,3 // IJe 10.07-02-02.23 integrirovannaja sistema upravlenija. Kotel'naja № 2 sistema zoloudalenija i zoloudalenija kotloagregatov st. № 2,3.
- Квагинидзе В., Корецкая Н. (2022). Безопасность труда на обогатительных заводах Севера. Россия: ЛитРес., 328. // Kvaginidze V., Koreckaja N. (2022). Bezopasnost' truda na obogatitel'nyh zavodah Severa. Rossija: LitRes., 328.
- Кормина Л.А. (2019). Технологии очистки газовых выбросов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.А. Кормина, Ю.С. Лазуткина. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2.9 МБ). – Барнаул, Изд-во АлтГТУ // Kormina, L.A. (2019). Tehnologii ochistki gazovyh vybrosov [lektronnyi resurs]: uchebnoe posobie / L.A. Kormina, IY.S. Lazutkina. – lektron. tekstovye dan. (1 fail: 2.9 MB). – Barnaul, Izd-vo AltGTU
- Котельная №2 золоулавливающие и золоудаляющие системы котлоагрегатов ст. № 2,3. ИЭ 10.07-02-02.23. // Kotel'naja №2 zoloulavlivajushhie i zoloudalajushhie sistemy kotloagregatov st. № 2,3. IJe 10.07-02-02.23.
- Сайфулин Т.М. (2020). СБОРНИК ДОКЛАДОВ И КАТАЛОГ XIII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПЫЛЕГАЗООЧИСТКА-2020». Фильтрационные системы для газовых и воздушных потоков на предприятиях нефтегазового и нефтехимического комплекса, системы термической утилизации отходящих газов и отходов. (ООО «ТИ-СИСТЕМС»), 80- 85. // Sajfulin T.M. (2020). SBORNIK DOKLADOV I KATALOG XIII MEZH DUNARODNOJ KONFERENCII «PYLEGAZOOCHISTKA-2020». Fil'tracionnye sistemy dlja gazovyh i vozdushnyh potokov na predpriyatijah neftegazovogo i neftehimicheskogo kompleksa, sistemy termicheskoy utilizacii othodjashhih gazov i othodov. (ООО «ТИ-СИСТЕМС»), 80-85.
- Шығыс Қазақстан және Абай облыстары бойынша қоршаған отраның жай-күйі туралы ақпараттық бюллетень. Қоршаған ортаның жай күйіне мониторингтің кешенді зертханасы Шығыс Қазақстан және Абай облыстары бойынша «ҚАЗГИДРОМЕТ» РМҚ филиалы. Өскемен қаласы 2023 жыл // Şyğys Qazaqstan jäne Abai oblystary bojnynsha qorshagan otranyñ zhaj-kyji turaly aqparattyq byulleten. Qorshagan ortanyñ zhaj kyjine monitoringtin keshendi zerthanasy Shygys Qazaqstan zhane Abaj oblystary bojnynsha «QAZGIDROMET» RMQ filialy. Oskemen qalasy 2023 zhyl.
- Арустамов Э.А., Волощенко А.Е., Косолапова Н.В., Прокопенко Н.А. (2022). Безопасность жизнедеятельности: учебник для бакалавров. – 24-е издание. – Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2022. – 446 с. – ISBN 978-5-394-05041-1 // Je.A. Arustamov, A.E. Voloshhenko, N.V. Kosolapova, N.A. Prokopenko. (2022). Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: uchebnik dlja bakalavrov; – 24-e izdanie. – Moskva: Izdatel'sko-torgovaja korporacija «Dashkov i K», 2022. – 446 s. – ISBN 978-5-394-05041-1.

Information about authors

Yestauletova Ainur – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: ainur_92uka@mail.ru +7 775 212 12 06

Baidildina Aizhan – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: azhaparova@edu.ektu.kz , +7 705 531 8235

Duisembayeva Gulnur – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: gdyusembaeba80@mail.ru , +7 777 982 0814

Nurgaliyeva Asel – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: nurgaliyeva_asel@mail.ru , +776 475 0022

Yestauletov Merei – master of technical sciences, "Ust Kamenogorsk heating networks" JSC shift supervisor, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, E-mail: merei_0701@mail.ru , +7 778 73 23 989

ҚУАТ
ЭНЕРГИЯ
ENERGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_44
IRSTI 44.00.00

As.M. Zhilkashinova¹, B. Azamatov², M. Nurbaev¹, Al.M. Zhilkashinova¹, S. Rudenko²

¹S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: assse12462@mail.ru*

E-mail: nurbaev1955@mail.ru

E-mail: almira_1981@mail.ru

²D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: Azamatovy@mail.ru

E-mail: sergej-rudenko@mail.ru

MICRO HYDROELECTRIC POWER PLANT DESIGN BASED ON A FLOW-THROUGH HYDRO TURBINE

АҒЫНДЫҚ ГИДРОТУРБИНА НЕГІЗІНДЕГІ МИКРОГЭС-тің ЖОБАСЫ

КОНСТРУКЦИЯ МИКРО-ГЭС НА БАЗЕ ПРОТОЧНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ

Abstract. This article presents data on the design of a damless micro hydroelectric power plant (further – «MHPP») based on a flow-through hydro turbine designed for autonomous power supply. The presented article describes the methods of development and modeling of MHPP in the CAD system of the SolidWorks program. The authors have solved a number of scientific and technical problems, which include: ensuring minimal energy losses in the flow part of the turbine; creating a turbine design and its parts that are technologically advanced in mass production. The simulation of the flow part of the turbine used in the work made it possible to ensure the correct choice of the input and output angles of the blades and to design the blade taking into account the results obtained during modeling. With the specified parameters (head, flow rate, rotation speed), the meridian outlines of the turbine flow section are selected.

Keywords: micro hydroelectric power plant; hydro turbine; modeling; engineering; electric power.

Аннотация. Бұл мақалада автономды электрмен жабдықтауға арналған ағынды гидравликалық турбинаға негізделген бөгетсіз шағын су электр станциясының жобасын өзірлеу туралы деректер келтірілген. Бұл мақалада SolidWorks бағдарламасының CAD жүйесінде шағын су электр станцияларын өзірлеу және модельдеу әдістері сипатталған. Авторлар бірқатар ғылыми-техникалық міндеттерді шешті, оларға мыналар жатады: турбинаның ағынды бөлігінде энергияның минималды шығынын қамтамасыз ету; сериялық өндіріс жағдайында технологиялық жағынан ерекшеленетін турбинаның және оның бөліктерінің құрылымын құру. Жұмыста қолданылатын турбинаның ағынды бөлігін модельдеу пышақтардың кіріс және шығыс бұрыштарын дұрыс таңдауға және модельдеу кезінде алынған нәтижелерді ескере отырып, пышақты жобалауға мүмкіндік берді. Берілген параметрлерде (бас, ағын жылдамдығы, айналу жиілігі) турбинаның ағын бөлігінің меридиан контуры таңдалады.

Түйін сөздер: шағын су электр станциясы; гидравликалық турбина; модельдеу; инженерия; электр энергиясы.

Аннотация. В данной статье приведены данные по разработке конструкции бесплотинной микро-ГЭС на базе проточной гидротурбины, предназначенной для автономного электроснабжения. В представленной статье описываются методики разработки и моделирования микро ГЭС в CAD системе программы SolidWorks. Авторами решены ряд научно-технических задач, к которым относятся: обеспечение минимальных потерь энергии в проточной части турбины; создание конструкции турбины и её частей, отличающихся технологичностью в условиях серийного производства. Применяемое в работе моделирование проточной части турбины позволило обеспечить правильный выбор входного и выходного углов лопастей и спроектировать лопасть с учетом полученных при моделировании результатов. При заданных

параметрах (напор, расход, частота вращения) выбраны меридианные очертания проточной части турбины.

Ключевые слова: микро-ГЭС; гидротурбина; моделирование; инженерия; электроэнергия.

Introduction. Currently, the problem of lack of electricity for many people around the world is becoming more and more urgent. This is especially true for those populated areas that are geographically located far from large cities or industrial centers. This is due to the fact that equipping such areas with electricity, that is, laying the appropriate connection, is quite expensive. Therefore, the issue of solving the problem of generating environmentally friendly and economically profitable renewable electricity is currently acute, especially for the development of remote rural areas without developed infrastructure (Mahfoud et al., 2023).

To solve this problem, the construction of an MHPP is most optimally suited. This is characterized by relative economic cheapness and ease of construction and operation (Lee et al., 2021).

In all countries, the production of electric and thermal energy based on renewable energy sources is growing (Gjorgievski et al., 2021; Puksec et al., 2020; Guzovic et al., 2020). There is a tendency in Kazakhstan to increasingly understand the need and possibility of using small hydropower to electrify people's places of residence, develop small industries and improve the quality of life of the population.

Energy supply using renewable energy sources in Kazakhstan is increasingly being considered as an alternative option for rural electrification. In Kazakhstan, renewable energy projects are given priority in the transmission of electricity through networks, support for the allocation of land by Potential consumers of electricity is provided by the state represented by the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan through the purchase of electricity through auctions. Consumers can also be the nearest industrial enterprises. According to the statistics department, as of 01.01.2021, 624 industrial enterprises operate in the region. Also, in case of losing the auction, agricultural production and ecotourism can become consumers (83 operating farms in East Kazakhstan region alone).

Literature review. A double damless hydraulic turbine Fedchishin B.G. is known, including a platform, coaxial rotors with blades kinematically connected by conical gears with an energy converter shaft and having unidirectional rotation (Avanesov et al., 2018). The sealed underwater generator housing is equipped with a compressed air cylinder and a gearbox (Patent No. 2018123294). The complexity of the design is due to the bevel gear, the blades are also double, the rotors are placed on consoles.

A flow-through damless hydraulic turbine is known, which contains a pontoon with a supporting rack on which inclined paired rotors are fixed (Patent No. 2019131021). The rotors interact with the power take-off shaft through hinged couplings, and through a sprocket rigidly fixed to the shaft, with a multiplier and a power unit. The design is difficult to perform due to the inclined paired rotors in the form of a shaft with blades, as well as the power take-off shafts of each pontoon do not have a kinematic connection with each other.

The Ossberger flow turbine is also known (Mehr et al., 2021). This is a radial, pressure-jet turbine with medium pressure with tangential water supply to the blades of the impeller with a horizontal shaft. According to its specific speed, it belongs to low-speed turbines. The water flow is regulated by the guiding devices in such a way that water flows through the blade ring into the inner space of the impeller, then passes through the second blade ring from the inner space of the wheel outward into the space of the turbine housing. The main disadvantages of these turbines are their limited capabilities when using the hydropower potential of lowland areas of small rivers due to the available suction pipes.

A hydraulic motor is known, including working blades mounted on fixed supports in a flow path with the formation of flow channels and connected to a power take-off mechanism made in the form of a tape, and a flow distributor made in the form of dampers installed at the entrance to the working channels and connected to a drive mechanism. The fastening is made hinged, with a power take-off mechanism, the blades are connected by other ends. The main disadvantages are: the complexity of the design, the design in the form of an endless ribbon, the flow distributor is made in the form of dampers.

The disadvantages of the above analogues are eliminated as follows. The flow turbine we offer can be installed on the platform of a floating boat pontoon, while the flow turbine is partially submerged in water. Running water through segment-ring channels through guide vanes enters the shovel-forming through-pass channel and rotates the turbine, while several hydraulic turbines are installed in series. Each hydraulic turbine is synchronized with each other through the driveshaft, as a result, the generator rotates with a total torque (Ghazi et al., 2022; Kebede et al., 2022; Gawusu et al., 2022; Baitanaeva et al., 2019; Sakharov & Karaulov, 2017; Konstantinov & Maiorov, 2018).

The purpose of this article is to develop the design of an effective free MHPP based on a flow-through hydro turbine, which ensures an increase in the efficiency of using water energy to generate electricity.

Materials and methods of research. The design of the nodes and parts of the proposed MHPP was developed using 3D visualization in the CAD program SolidWorks. The simulation of fluid flow through the structure of a hydraulic turbine is carried out by the finite element method using the SolidWorks Flow Simulation software.

Results and discussion. As a result of the design work carried out, the general design of the MHPP, as well as its main components and parts, has been developed. The proposed design of a ramjet turbine is schematically shown in Fig. 1,2. Figure 1 shows a general view of sequentially arranged flow turbines; Figure 2 shows the flow turbine itself. A flowing damless hydro turbine consists of a paired pontoon boat 1, the depth of immersion is regulated by sand 2, which is filled into the compartments of the boat pontoon 1. A platform with 3 racks 4 is mounted on the pontoon 1, a shaft 6 is made in roller supports 5 between the supports, to which a rotor 7 with external conical surfaces 8 is connected. Along the outer perimeter of the conical surface 8 of the rotor 7, series-obliquely arranged mutually contacting through channels 9 are installed, while through mutual contacts between the side walls 10 and through channels 9 are made of two-layer spiral-shaped blades 11. The hydraulic turbine is equipped with a protective casing 12, sealing rubber rings 13 are made between the inner plane of the casing 12 and the outer surface of the through channel 9, which are rigidly fixed by the outer conical surface of the through channel 9. To maintain structural strength, the turbines are connected to each other by a boat pontoon 1 using a cable, the turbine shafts of each pontoon are synchronized by rotation of the intermediate cardan shafts 14, pontoons 1 and are equipped with a submerged segment-ring channel 15 for supplying water to the turbine and guide vanes 16. The total torque is achieved due to sequentially arranged flow turbines, which is transmitted to the gearbox 17, then by means of chain gears 18, the rotation is transmitted to the generator 19. It is proposed to make a protective steel housing with a cable entry for the transformer from above, and for the generator from below, and a power cable between the generator and the switchboard.

Figure 3 shows a general view of the impeller of a microelectric turbine, including one obtained using 3D visualization in the CAD program SolidWorks. The wheel diameter was chosen taking into account the initial parameters, namely the river flow rate – 3-5 m/s, the depth of the local plain Irtysh river at the installation site is approximately 4-6 m, the required output power of MHPP is at least 1 kW. It is known that the main hydropotential in the Republic of Kazakhstan is geographically located in the Irtysh River basin.

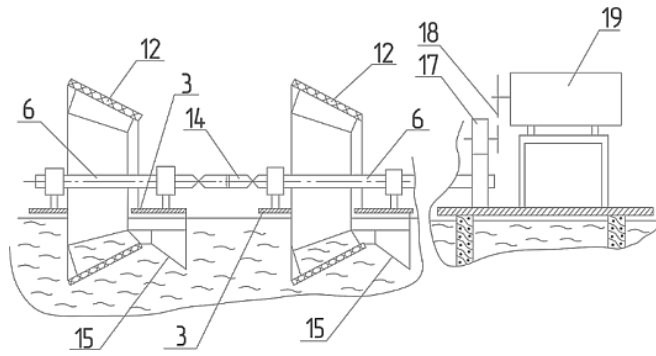


Figure 1. General view of sequentially arranged flow turbines

Note – compiled by the author

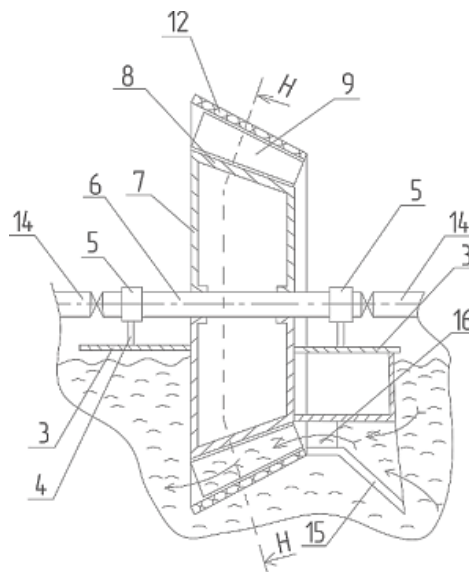


Figure 2. General view of the flow turbine

Note – compiled by the author

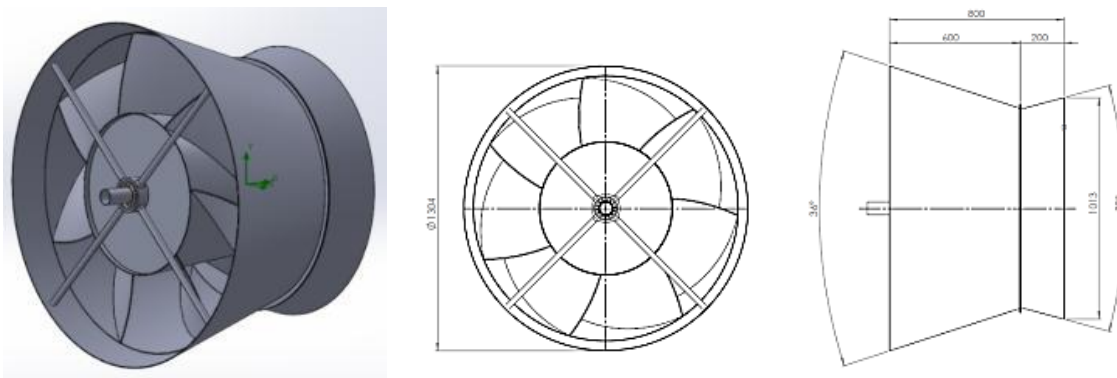


Figure 3. General view of the impeller of a microelectric turbine

Note – compiled by the author

The MHPP turbine is proposed to be subsequently manufactured from a polyethylene material. Polyethylene has a number of advantages: corrosion resistance, acid resistance, lightweight, well-processed material with various processing methods. The body of the MHPP consists of two halves: a directional channel that serves to direct the flow of water to the blades of the turbine and the main body with a turbine wheel. The outer diameter of the wheel is 1304 mm, the inner diameter is 608 mm.

Figure 4 also shows the working blades of the MHPP and the scheme of the directional channel. The height of the working blade is 606 mm, the width is 503 mm. The turbine blades are made with a complex geometry.

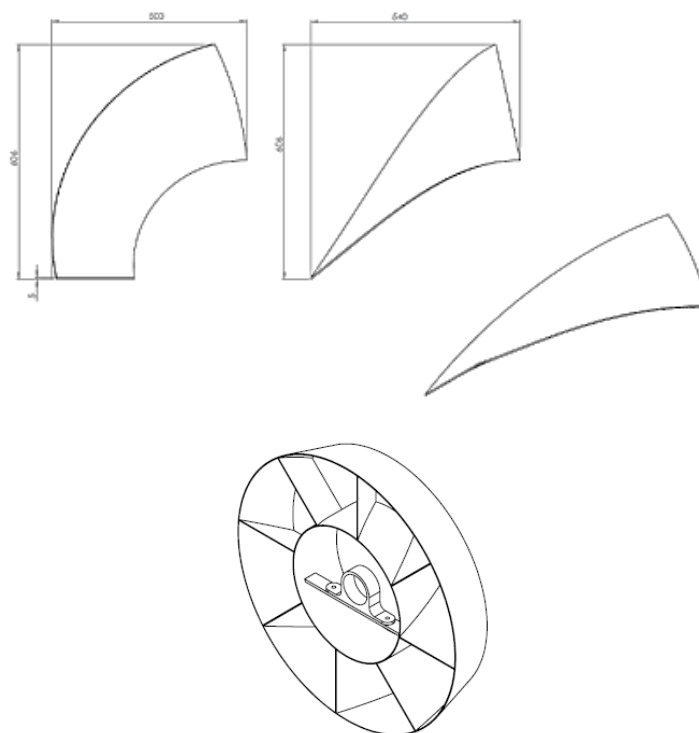


Figure 4. a) Working blades of MHPP; b) General view of the directional channel

Note – compiled by the author

As part of the design development, the loads on the turbine wheel blades were determined in the SolidWorks CAD program. The simulation of fluid flow through the structure of a hydraulic turbine by the finite element method using the SolidWorks Flow Simulation software was carried out.

Conditions set at the boundaries of the calculation area:

- at the entrance is the flow velocity vector corresponding to the river flow;
- on the wall – friction condition (without friction);
- static pressure at the outlet.

The flow velocity set in the simulation was 1.2 m/s.

Figure 5 shows the calculated values of the moment of force and the force exerted by the flow of water on the blades of a hydraulic turbine. The value of the moment of force was 77.610 Nm. The total force acting on the blades of the turbine was 244.062 N.

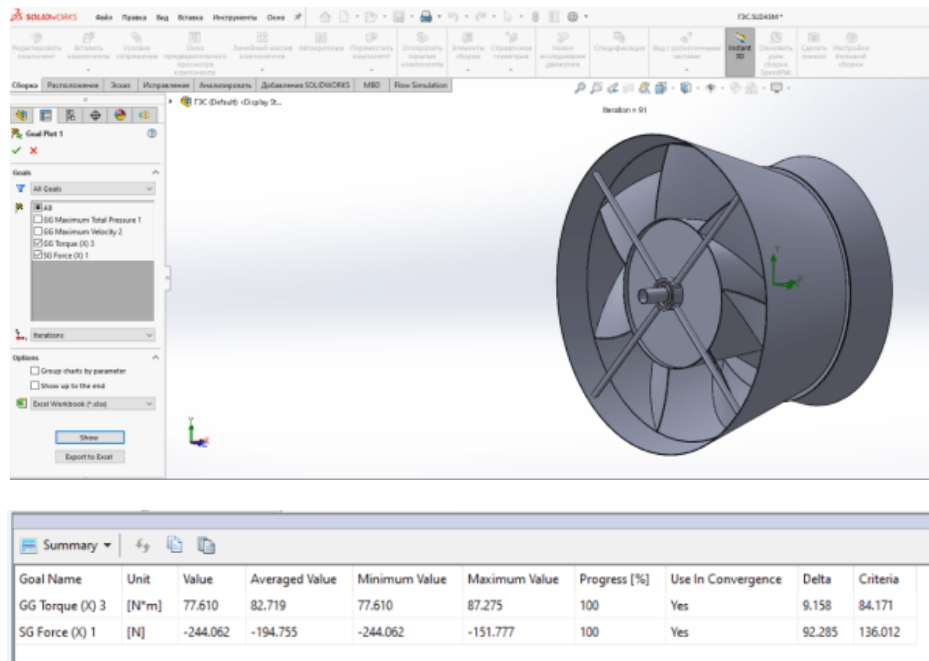


Figure 5. Calculated values of the moment of force and force

Note – compiled by the author

Figure 6 shows the distribution of the water flow velocity through the turbine channel throughout the entire volume of the structure. The water velocity decreases evenly as the channel passes and due to the drop in speed, pressure is exerted on the blades of the turbine, which leads to the rotation of the turbine.

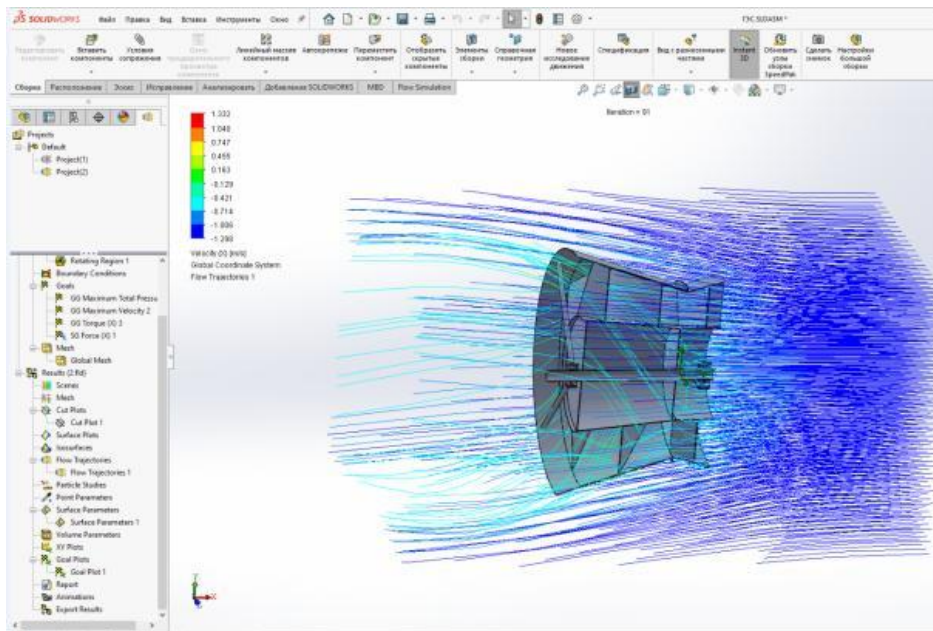


Figure 6. Flow velocity distribution in a hydraulic turbine

Note – compiled by the author

Figure 7 shows a view of the structure from the side of the guide, which shows the distribution of the force exerted by the flow of water on the blades of a hydraulic turbine.

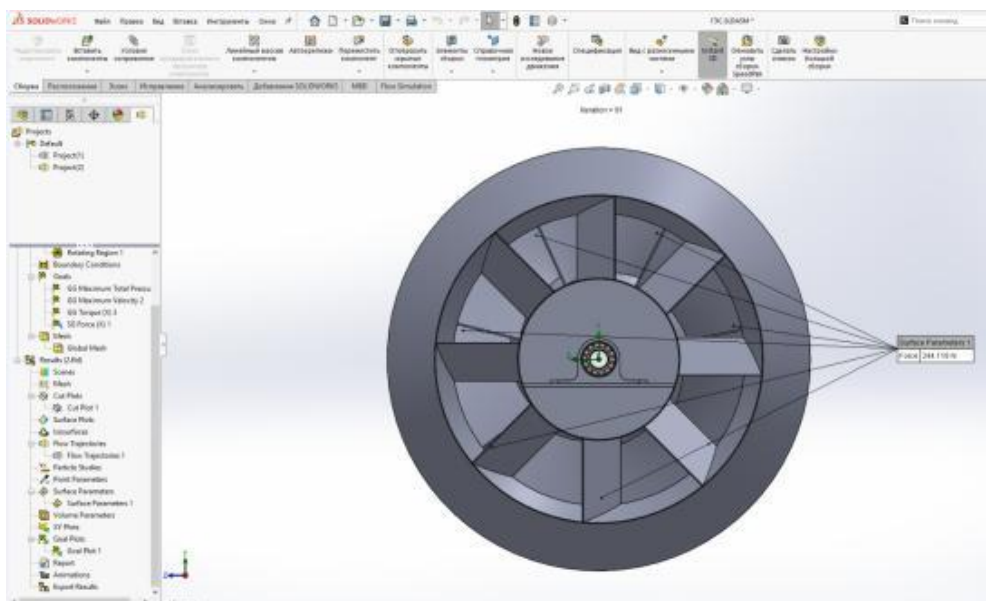


Figure 7. View of the hydraulic turbine from the directional side

Note – compiled by the author

The distribution of the absolute velocity values averaged over the channel height is shown in Figure 8. The velocity decreases uniformly towards the center of the hydraulic turbine, where there is no flow channel, in accordance with the proposed design.

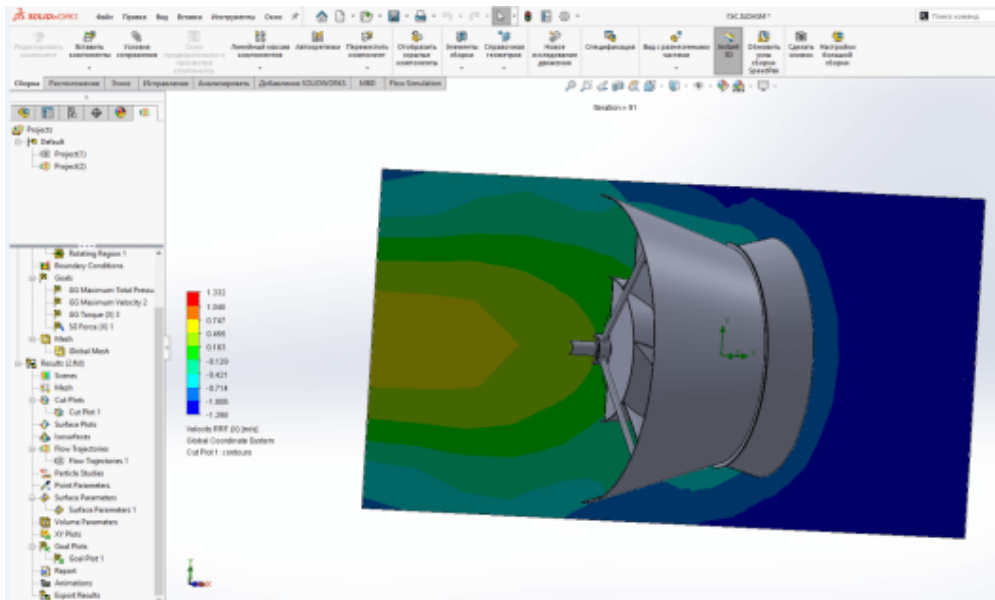


Figure 8. Distribution of velocity values along the height of the hydraulic turbine channel

Note – compiled by the author

Conclusions. The proposed type of MHPP does not require a dam and reservoir, which is a sign of an environmentally friendly power plant. The use of rivers with small flows is of scientific interest in the field of renewable energy sources. This is due to the fact that such water bodies have a high energy density of water flow and relative temporary stability of the flow regime. These indicators can be used in the field of water energy regulation, using a cheap type of conversion of electricity produced. In general, comparing damless MHPP with other types of power plants, it is possible to note the potential for producing cheaper electricity.

When creating the design of a MHPP and its turbine, a number of scientific and technical tasks were solved, which include: ensuring minimal energy losses in the flow part of the turbine; creating a turbine design and its parts that are technologically advanced in mass production. These studies will allow us to develop and unify the requirements for such equipment.

In this article, the authors developed the design of an efficient MHPP based on a flow-through hydro turbine, which provides an increase in the efficiency of using water energy to generate electricity, which made it possible to determine the correct choice of the angles of entry and exit of the blades, as well as to build the blade itself. With the specified parameters (head, flow rate, rotation speed), the meridian outlines of the turbine flow section are selected.

The implementation of these studies will make it possible in the future to manufacture a new MHPP plant design based on a flow-through hydraulic motor and test a prototype with a capacity of ~ 1 kW, while the total power can be increased by sequentially arranging hydraulic turbines.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The research project on MHPP of which this work is part is supported by grant AP19677819 «Development and creation of a prototype of a damless microelectric power plant based on a flowing hydro turbine».

References

- Avanesov A.D., Boloboshko D.S., Lanin E.B., Ogurtsov G.K. (2018). Review of prospects for the development of small hydropower facilities in Russia and analysis of solving problems related to their construction and operation. *Scientific research*, 1 (12), 101-104, 10.1016/j.rser.2015.06.065.
- Baitanaeva B.A., Shaikhutdinova A.K., Bisultanova N.S. (2019). Problems and perspectives of using renewable energy sources: domestic and foreign experience, *Bulletin of the Turan University*, no. 3, 180-184.
- Gawusu S., Zhang X., Ahmed A., Jamatutu S.A., Miensah E.D., Amadu A.A., Osei F.A.J. (2022). Renewable energy sources from the perspective of blockchain integration: From theory to application, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 52, 102108, 10.1016/j.seta.2022.102108.
- Ghazi Z.M., Rizvi S.W.F., Shahid W.M., Abdulhameed A.M., Saleem H., Zaidi S.J. (2022). An overview of water desalination systems integrated with renewable energy sources, *Desalination*, vol. 542, 116063, 10.1016/j.desal.2022.116063.
- Gjorgievski V.Z., Markovska N., Puksec T., Duic N., Foley A. (2021). Supporting the 2030 agenda for sustainable development: Special issue dedicated to the conference on sustainable development of energy, water and environment systems 2019, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, 110920, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110920>.
- Kebede A.A., Kalogiannis T., Mierlo J.V., Berecibar M. (2022). A comprehensive review of stationary energy storage devices for large scale renewable energy sources grid integration, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 159, 112213, 10.1016/j.rser.2022.112213.

- Konstantinov G.G., Maiorov G.S. (2018). Development and research of a stand alone power source based on micro hpp and induction generator with capacitor excitation, Proceedings of Irkutsk State Technical University, 22(10), 92-116, <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-10-92-116>.
- Lee P.Y., Varbanov P.S., Foley A., Klemes J.J. (2021). Smart energy management and recovery towards Sustainable Energy System Optimisation with bio-based renewable energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 135, 110395, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110385>.
- Mahfoud R.J., Alkayem N.F., Zhang Y., Zheng Y., Sun Y., Alhelou H.H. (2023). Optimal operation of pumped hydro storage-based energy systems: A compendium of current challenges and future perspectives, Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 178, 113267, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113267>.
- Mehr G., Durali M., Khakrand M.H., Hoghooghi H. (2021). A novel design and performance optimization methodology for hydraulic Cross-Flow turbines using successive numerical simulations, Renewable Energy, vol. 169, 1402-1421, [10.1016/j.renene.2021.01.090](https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.090).
- Patent of the Russian Federation No. 2018123294, IPC F03B 13/10, publ. 06.27.2018.
- Patent of the Russian Federation No. 2019131021, IPC F03B 13/26, publ. 02.10.2019.
- Piacentino A., Carini P., Markovskaya N., Guzovic Z., Mathiesen B.V., Ferrari S., Duic N., Lund H. (2020). Editorial: Sustainable development of energy, Water and Environment Systems, Energy. – Vol. 190, 116432, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116432>.
- Puksec T., Markovska N., Foley A., Duic N. (2020). Addressing the transition to sustainable energy systems: Special issue dedicated to the 2018 conferences on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 119, 109520, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109520>.
- Sakharov M.V., Karaulov V.N. (2017). Analysis of design, electromechanical and thermal processes in reverse SDAM, Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University, Materials of the International Scientific and technical Conference "XIX Benardos readings", 173-175.

Information about authors

Assel Zhilkashinova – PhD; Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University; Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; asssel2462@mail.ru; 8-777-633-31-13

Bagdat Azamatov – PhD; D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University; Azamatovy@mail.ru

Mergen Nurbaev – Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University; Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan;; nurbaev1955@mail.ru

Almira Zhilkashinova – candidate of Physical and Mathematical Sciences; Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University; Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; almira_1981@mail.ru

Rudenko Sergey – Research Engineer at the "Smart Engineering" CC, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, E-mail: sergej-rudenko@mail.ru

МАШИНАЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_53
MFTAA 52.47.15

К.А. Ихсанов¹, Г.Е. Калешева², Т.Н. Утеева³, Н.Н. Шаненов⁴

Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті. Орал қ., Қазақстан

¹E-mail: Ikhsanov_k@mail.ru

²E-mail: Kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru*

³E-mail: Uteevatoigan@inbox.ru

⁴E-mail: Nauryzshanenov@gmail.com

БҰРҒЫЛАУ ШЫҒЫРЫНЫҢ ТЕЖЕГІШІН САЛҚЫНДАТУ ҮРДІСІНІҢ ЖҰМЫСТЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ОҒТАЙЛАСТЫРУ

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ТОРМОЗА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

OPTIMIZATION OF OPERATING PARAMETERS OF THE DRILLING WINCH BRAKE COOLING PROCESS

Аңдатпа. Мақалада бұрғылау шығырының тежегішінің конструктивті-геометриялық параметрлеріне сәйкесті өлшемсіз параметрлерді анықтау бойынша эксперименталды зерттеу нәтижелері сипатталады. Зерттеудің мақсаты жұмыс элементтерінің қызмет ету мерзімін ұлғайту және параметрлерді оңтайландыру, бұрғылау жүкшығырының тежеу жүйесі және өнімділік пен өнімсіз уақытты азайту үшін техникалық факторларды қолдану арқылы бұрғылау процесінің тиімділігін арттырудың ғылыми негіздемесі болып табылады.

Түйін сөздер: ұңғыма, бұрғылау шығыры; тежегіш шкиві; үйкеліс элементтері, жылу шығару; жылу өткізгіштік; эксперимент; параметрлер.

Аннотация. В статье описывается результаты экспериментального исследования по определению безразмерных параметров, соответствующих конструктивно-геометрическим параметрам тормоза буровой лебедки. Целью исследования является научное обоснование повышения эффективности процесса бурения за счет применения технических факторов увеличения срока службы рабочих элементов и оптимизации параметров, тормозной системы буровой лебедки и снижения производительного и непроизводительного времени.

Ключевые слова: скважина, буровая лебедка; тормозной шкив; элементы трения, теплоотвод; теплопроводность; эксперимент; параметры.

Abstract. The article describes the results of experimental research to determine non-chemical parameters corresponding to the design and geometric parameters of a storm winch. The purpose of the study is to scientifically substantiate the increase in the efficiency of the drilling process through the use of technical factors to increase the service life of working elements and optimize parameters, the braking system of the drilling winch and reduce productive and unproductive time.

Keywords: the well, drilling winch; brake pulley; friction elements, heat sink; thermal conductivity; experiment; parameters.

Кіріспе. Күрделі тау-кен-геологиялық жағдайларда жатқан мұнай, газ және конденсат қорларының өсу, жаңа кен орындарын игеру және сарқылған кен орындарынан көмірсутектерді алу коэффициентін арттыру проблемаларын шешу үшін, барлау және пайдалану ұңғымаларын бұрғылау көлемін ұлғайту және тоқтап тұрған ұңғымалар қорын қысқарту қажет (Кульчицкий, 2019).

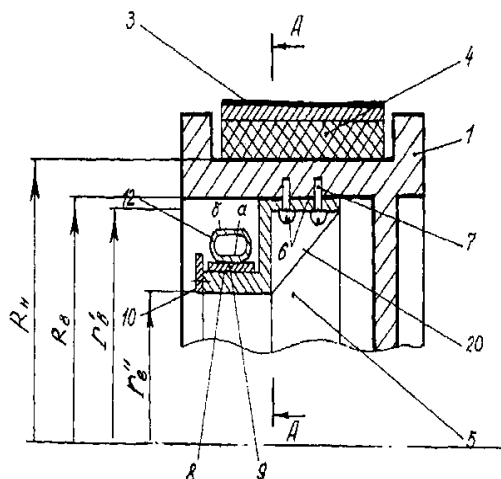
Мұнай-газ ұңғымаларын бұрғылау жұмыстарын одан әрі дамыту олардың құрылыс сапасы мен пайдалану сенімділігін арттыруды қамтамасыз ететін жаңа технологиялар мен техникалық құралдарды әзірлеуді және жетілдіруді талап етеді.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Жұмыстың сенімділігін арттыру және тежеу жүйесінің үйкеліс элементтерінің тозуын азайту арқылы бұрғылаудың өнімді және өнімсіз уақытын азайтуға бағытталған зерттеулер, сондай-ақ тежеу жүйесінің үйкеліс элементтерінің жылу кернеулігін төмендету әдістерін дайындау қазіргі уақытта қызығушылық тудырады.

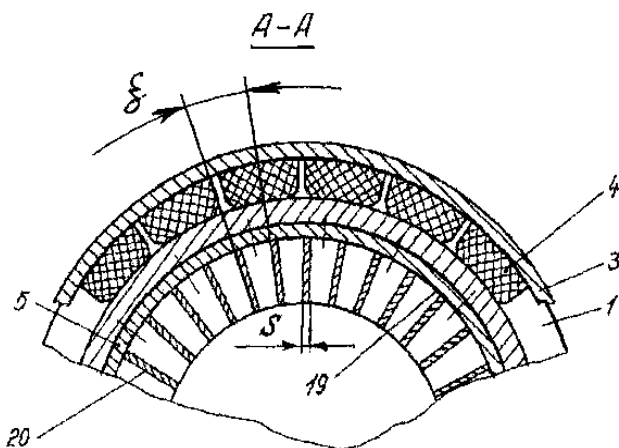
Мұндай кешенді зерттеулерді орындау, бұрғылау шығырларының жұмыс қабілеттілігінің параметрлерін дәл бағалауға және оларды ұтымды пайдалануды ұйымдастыруға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде ұңғымаларды бұрғылау көрсеткіштерінің артуына әсер етеді (Ихсанов, 2023).

Математикалық модельді құру әдістемесіне сүйене отырып, оның артықшылықтарын ескере отырып, негізгі мәселені сәтті шешу үшін тежегіш шкивінің ең жоғары қыздыру аймағынан жылу шығару процесіне көп әсер ететін негізгі факторларды таңдау қажет. Жылу тарату параметрлеріне бір уақытта және өзара байланысты бірнеше факторлар әсер етеді. Сондықтан, тежегіш жүйесін салқындату процесінің нақты физикалық мағынасын сипаттайтын эксперимент нәтижесін алу үшін тандалған факторларды өзара толық байланыста қарастыру қажет.

Нәтижелері және оларды талқылау. Толық факторлық эксперимент функциядағы факторлардың оңтайландыру критерийіне сызықтық, квадраттық және синергетикалық тәуелділігін қамтамасыз етеді. Компьютерлік эксперименттер жасау және аналогтық модельді зерттеу кезінде эксперименттерді ортогональды композициялық жоспарлау әдісі қолданылды, онда бірнеше факторлар алдын ала таңдалды (Маталыцкий, 2017). Олар, априорлық мәліметтерге сәйкес, бұрғылау шығырының таспалы тежегіш шкивінің жұмыс бетінің жылу өткізгіштік коэффициентіне λ_R ең үлкен әсер етеді. Бұл жағдайда, жылу өткізгіштік коэффициенті көбінесе негізгі және қосалқы шкивтердің қимасының қалыңдығының қатынасына k_R , қосалқы шкивтің жылу өткізгіш шеттері арасындағы бұрышқа ζ , жиектердің берілген қалыңдығының көмекші шкивтің жылу өткізгіш бетінің мөлшеріне қатынасына байланысты екендігі анықталды (Ахметов, 2007).



1-сурет. Қосымша жылу тарату факторлары мен өлшемдерін анықтау сұлбасы
Ескерту – авторлармен құрастырылған



2-сурет. Жылу өткізгіш қабырғалар арасындағы қашықтықты анықтау сұлбасы
 Ескерту – авторлармен құрастырылған

1 және 2-суретке сәйкес k_R коэффициенті келесі өрнекпен анықталады

$$k_R = (R_H - R_B) / (R_B - r'_e), \tag{1}$$

және, физикалық тұрғыдан алғанда, ол негізгі және қосымша шкивтер арасындағы жылу беру процесін анықтайды. Ал, k_r коэффициентін келесі формула бойынша есептейміз

$$k_r = Sn / (r'_e - r''_e), \tag{2}$$

мұндағы n – жылу өткізгіш қабырғалардың саны.

Регрессиялық математикалық модельді құру үшін таңдалған факторлардың өзгеру деңгейлері мен аралықтары 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Факторлар және олардың өзгеру деңгейлері

| Өзгеру деңгейлері | Факторлары | | | Атаулар және оңтайландыру критерийлерінің орташа мәндері |
|-------------------|--|--|---|---|
| | X_1 | X_2 | X_3 | \bar{Y} |
| | Негізгі және қосалқы шкивтердің көлденең қималарының қалыңдығының қатынасы K_R | Жылу өткізгіш қабырғалар арасындағы бұрыш, ζ | Берілген қабырға қалыңдығының көмекші шкивтің жылу өткізгіш дөңгелек бетінің өлшеміне қатынасы, k_r | Бұрғылау шығырының таспалы тежегіш шкивінің жұмыс бетінің жылу өткізгіштік коэффициенті, λ_R , Вт/(м*К) |
| Жоғарғы + | 24 | 15 | 2,5 | |
| Негізгі 0 | 16 | 10 | 1,5 | |
| Төменгі – | 8 | 5 | 0,5 | |
| Өзгеру аралығы | 8 | 5,0 | 1,0 | |

Ескерту – авторлармен құрастырылған

Эксперименттік зерттеу нәтижелерін факторлық талдаудың міндеті

$$\lambda_R = f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \max, \quad (3)$$

типті математикалық модельді, $40Bm/(m \cdot K) \leq \lambda_R \leq 80Bm/(m \cdot K)$ шектеу шамасында алу болып табылады. λ_R параметрінің көрсетілген шектерден шығуы оң нәтиже бермейді, керісінше жүйені жұмыс істемейтін және мағынасыз етеді.

(3) өрнектен, көлденең қиманың ең қызған бетінің, яғни, бұрғылау шығырының тежегіш шкивінің жиегінен максималды жылу өткізгіштігі қамтамасыз етілетін X_1 , X_2 және X_3 факторларының мәндерін табу керек екенін көруге болады.

Маңызды параметрлерден оңтайландыру критерийі функциясы түрінде жылу таратқыш құрылғының математикалық моделін құру мақсатында эксперименттің ортогоналды жоспарлау матрицасы құрылды. Эксперименттік деректерді өңдегеннен кейін екінші ретті математикалық модель құрылды:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i x_j, \quad (4)$$

мұндағы y – оңтайландыру критерийі; x_i, x_j – тәуелсіз айнымалы факторлар; a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij} – теориялық регрессия коэффициенттері.

Мақсатты функцияның жауап бетін зерттеу үшін келесі формулалар бойынша есептелген регрессия коэффициенттері анықталды:

$$\begin{aligned} a_0 &= a'_0 - \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} a_{ii} \sum_{i=1}^{N_0} x_{in}^2, \\ a'_0 &= \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{N_0} \bar{Y}_n; \\ a_0 \ a_i &= \frac{\sum_{n=1}^{N_0} X_{in} \bar{Y}_n}{\sum_{n=1}^{N_0} (X_{in})^2}, \quad (i \neq 0), \\ a_{ij} &= \frac{\sum_{n=1}^{N_0} X_{in} X_{jn} \bar{Y}_n}{\sum_{n=1}^{N_0} (X'_{in})^2}, \\ a_{ii} &= \frac{\sum_{n=1}^{N_0} X'_{in} \bar{Y}_n}{\sum_{n=1}^{N_0} (X'_{in})^2}, \\ X'_{in} &= X_{in}^2 - \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{N_0} X_{in}^2, \end{aligned} \quad (5)$$

мұндағы n – тәжірибе нөмірі; i – фактор нөмірі.

Параллель тәжірибелердің дисперсиясы келесі формула бойынша анықталды:

$$S = (Y_i - \bar{Y}) / m - 1, \quad (6)$$

мұндағы \bar{Y} – параллель тәжірибелердегі оңтайландыру критерийінің орташа мәні; m – қайталану саны.

Дисперсиялардың біртектілігі Кохрен критерийі бойынша бағаланды:

$$K_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (7)$$

мұндағы K_p – Кохрен критерийінің есептік мәні; S_{\max}^2 – параллель тәжірибелердің максималды депрессиясы; $\sum_{i=1}^N S_i^2$ – параллель тәжірибелердің депрессиясының қосындысы.

Кохрен критерийінің критикалық мәні бойынша анықталды. Бұл ретте еркіндік дәрежелерінің саны төмендегі шарттан анықталды:

$$\xi_1 = m-1, \quad \xi_2 = N-1, \quad (8)$$

мұндағы N – тәжірибелер саны.

Егер $K_p < K_{табл.}$ болса, дисперсия біртекті болып саналды.

Көбею дисперсиясы келесі формуламен анықталды:

$$S(y) = \sum_{i=1}^{N_0} S_i^2 / N. \quad (9)$$

Көбею дисперсиясының еркіндік дәрежелерінің саны формула бойынша есептелді:

$$Z_{\bar{y}} = (m-1)N. \quad (10)$$

Сәйкестік дисперсиясы келесідей есептелді:

$$S_{ad}^2 = m \sum_{i=1}^{N_0} (\bar{Y}_i - \tilde{Y}_i)^2 / (N - \chi), \quad (11)$$

мұндағы χ – теңдеудің маңызды коэффициенттерінің саны; \tilde{Y} – (4) өрнек бойынша есептелген Y теориялық мәні.

Математикалық модельдің сәйкестігі Фишер-Снедекор критерийі бойынша тексерілді:

$$F_p = S_{ad}^2 / S^2(Y) \quad (12)$$

келесі шектеу кезінде

$$F_p < F_{табл.} \quad (13)$$

(13) шарттың орындалуы, әзірленіп жатқан модельдің нақты үдеріске сәйкестігінің қанағаттанарлық фактісі болады.

Келтірілген әдістеме негізінде құрылымының оңтайлы құрылымдық-режимдік параметрлерін анықтау мақсатында орталық композициялық ортогоналды жоспарлау әдісімен толық факторлық эксперимент жасалды.

Бұрын оқшауланған, басым деп аталатын факторлар, эксперименттер кезінде бес деңгейде өзгерді. Факторлардың аралықтары мен өзгеру деңгейлері 2-кестеде келтірілген.

Толық факторлық экспериментті қамтамасыз ету үшін таңдалған факторларды ескере отырып матрица жасалды және регрессия теңдеуін алу үшін эксперимент жүзеге асырылды.

2-кесте. Белгіленген факторлардың өзгеру деңгейлері мен аралықтары

| Факторлар | Белгіленулер | Деңгейлер | | | | | Интервал |
|---|--------------|-----------|-----|-----|-----|---------|----------|
| | | -1, 215 | -1 | 0 | 1 | 1,215 | |
| Негізгі және қосалқы шкивтердің қималарының қалыңдығының қатынасы k_R | X_1 | 2,84 | 8 | 16 | 24 | 29,16 | 8 |
| Жылу өткізгіш қабырғалар арасындағы бұрыш, ξ | X_2 | 1,77 | 5 | 10 | 15 | 18,23 | 5,0 |
| Қабырғалардың келтірілген қалыңдығының көмекші шкивтің жылу өткізгіш дөңгелек бетінің мөлшеріне қатынасы, k_f | X_3 | -0,04 | 0,5 | 1,5 | 2,5 | 3,04 | 1,0 |
| | | $-\beta$ | | | | β | |

Ескерту – авторлармен құрастырылған

Жоспарлау матрицасы және тәжірибелік мәліметтердің нәтижелері жылу өткізгіштік коэффициенті 3-кестеде келтірілген.

3-кесте. Жоспарлау матрицасы және тәжірибелік мәліметтер нәтижелері жылу өткізгіштік коэффициенті

| Тәжірибе № | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | X_{12} | X_{13} | X_{23} | $X_1^2 - \alpha$ | $X_2^2 - \alpha$ | $X_3^2 - \alpha$ | Жылу өткізгіштік коэффициенті λ_R | | | |
|-----------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|------------------|------------------|---|-------|-------|-----------|
| | | | | | | | | | | | Y_1 | Y_2 | Y_3 | \bar{Y} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,73 | -0,73 | -0,73 | 78 | 76 | 76 | 76,6 |
| 1 | + | - | - | + | + | - | - | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 38 | 47 | 36 | 40,3 |
| 2 | + | - | + | - | - | + | - | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 22 | 25 | 31 | 26,0 |
| 3 | + | - | + | + | - | - | + | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 50 | 58 | 59 | 55,6 |
| 4 | + | + | - | - | - | - | + | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 69 | 65 | 67 | 67,0 |
| 5 | + | + | - | + | - | + | - | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 45 | 41 | 38 | 41,3 |
| 6 | + | + | + | - | + | - | - | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 47 | 48 | 49 | 48,0 |
| 7 | + | + | + | + | + | + | + | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 37 | 32 | 35 | 34,6 |
| 8 | + | - | - | - | + | + | + | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 20 | 22 | 21 | 22,0 |
| 9 | + | β | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,745 | -0,73 | -0,73 | 62 | 59 | 61 | 60,6 |
| 10 | + | $-\beta$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,745 | -0,73 | -0,73 | 4 | 70 | 62 | 45,3 |
| 11 | + | 0 | β | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,73 | 0,745 | -0,73 | 45 | 44 | 47 | 48,6 |
| 12 | + | 0 | $-\beta$ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,73 | 0,745 | -0,73 | 58 | 60 | 61 | 59,6 |
| 13 | + | 0 | 0 | β | 0 | 0 | 0 | -0,73 | -0,73 | 0,745 | 70 | 73 | 74 | 72,3 |
| 14 | + | 0 | 0 | $-\beta$ | 0 | 0 | 0 | -0,73 | -0,73 | 0,745 | 71 | 74 | 77 | 74,0 |
| Баған квадратының қосындысы | 15 | 10,95 | 10,95 | 10,95 | 8 | 8 | 8 | 4,73 | 4,73 | 4,73 | | | | |
| Регрессия коэф-ті | 51,98 | 5,98 | -1,80 | 0,615 | -5,62 | 10,875 | 2,95 | -10,445 | -14,592 | -2,711 | $\sigma(Y)$ | | | |

$\alpha=0,73; \beta=1,215$

Ескерту – авторлармен құрастырылған

3-кестеде құрастырылған матрица, $N_0 = 2^n + 2n + 1$ формула бойынша есептелген 15-ке тең тәжірибелер санымен толық факторлық экспериментті қамтамасыз етеді. Мұндағы N_0 – тәжірибелер саны; n – факторлар саны.

3-кестеде жылу өткізгіштік коэффициентінің мәндері y_i пайызбен және олардың тәжірибелер $i = 3$ тең қайталанған кездегі орташа мәндері \bar{y}_i .

Эксперименттер кезінде жоспарлау матрицасына енбеген басқа факторлар оңтайлы деңгейде тіркелді.

\bar{y} дәрежесінің регрессия коэффициенттері орташа эксперименттік мәндер бойынша анықталды. Алынған мәндерді (4) теңдеуіне қоя отырып, регрессия теңдеуін аламыз:

$$Y = 51,45 + 5,98X_1 - 1,805X_2 + 0,615X_3 - 5,625X_1X_2 - 10,875X_1X_3 + 2,95X_2X_3 - 10,445X_1^2 - 14,592X_2^2 - 2,711X_3^2. \quad (14)$$

Алынған регрессия теңдеуінің нақты физикалық процеске сәйкестігі Фишер-Снедекор критерийі бойынша сәйкестік дисперсиясын бағалау арқылы анықталды. Сәйкестік дисперсиясын есептеу нәтижелері регрессия теңдеулері үшін Фишер критерийінің есептік мәндерін анықтауға мүмкіндік берді:

$$F_{p_0} = 1,92 \text{ и } F_{p_3} = 2,17.$$

Соңғы мәндерді 5 % маңыздылық деңгейіндегі F-критерийінің кестелік мәндерімен салыстыру, теңдеудің сәйкестігін көрсетті. F-критерийінің кестелік мәндері $f_1 = 2$ және $f_2 = 14$ алымының еркіндік дәрежелері санының мәндері үшін алынады (Ахметов, 2007).

Шартты координаттардағы факторлардың оңтайлы мәндерін анықтау үшін 14-теңдеулері бойынша функцияның ішінара туындыларын анықтаймыз:

$$\begin{aligned} dY/dX_1 &= -20,89X_1 - 5,625X_2 - 10,875X_3 + 5,98 = 0, \\ dY/dX_2 &= -5,625X_1 - 29,184X_2 + 2,95X_3 - 1,805 = 0, \\ dY/dX_3 &= -10,875X_1 + 2,95X_2 - 5,422X_3 + 0,615 = 0. \end{aligned} \quad (15)$$

(15) теңдеуді шешу арқылы компьютерде тәуелсіз оңтайландыру факторларының мәндері табылды:

$$X_1 = 0,06, \quad X_2 = 0,32, \quad X_3 = 2,38.$$

Мақсатты функцияның жауап бетінің шартты координаттары факторлардың физикалық шамаларының өзгерудің нөлдік деңгейінен ығысуын сипаттайды. Бұл координаттар сонымен бірге модельдің жауап бетінің екі өлшемді қималарында критикалық нүктелердің орналасуын анықтайды.

Мақсатты функцияның екі өлшемді қималары үлкен қызығушылық тудырады, өйткені оларды өндеу арқылы жылу өткізгіштік коэффициентінің негізгі құрылымдық және режимдік параметрлерге тәуелділіктерінің кез-келгенін алуға болады.

Практикалық есептеулер мен көрсеткіштерді бағалау үшін шартты координаттарға қарағанда физикалық айнымалылары бар жылу өткізгіштік процесінің математикалық моделін көрсететін мақсатты функция қолайлы болады.

2-кестеге сәйкес шартты координаттарды аудару келесідей жүзеге асырылады:

$$X_1 = (k_R - 16)/8; \quad X_2 = (\zeta - 10)/5; \quad X_3 = (k_T - 1,5)/0,5;$$

бұдан мынаны аламыз:

$$X_1 = 0,125k_R - 2; \quad X_2 = 0,2\zeta - 2; \quad X_3 = 2k_T - 3. \quad (16)$$

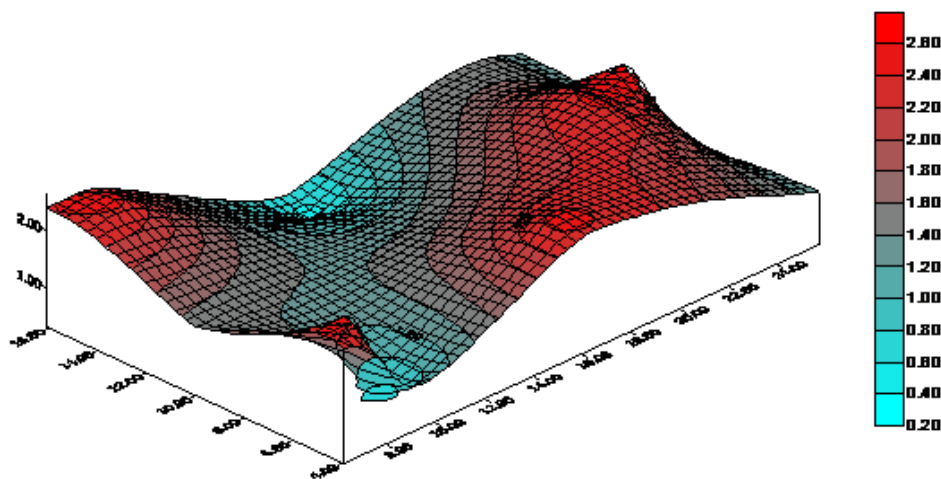
(14) тәуелділікке (16) мәндерін қоя отырып, 2-кестеден физикалық айнымалы факторлардың коэффициенттерін есептейміз, нәтижесінде оңтайлылықтың негізгі критерийіне, яғни жылу өткізгіштік коэффициентіне тәуелділік түрінде жылу өткізгіштік процесінің математикалық моделі алынды, яғни бұрғылау шығырының таспалы тежегішінің құрылымдық-режимдік параметрлеріне қатысты жылуөткізгіштік коэффициенті:

$$\lambda_R = -160,54 + 11,447k_R + 11,21\xi + 73,43k_T - 0,14k_R\xi - 2,72k_Rk_T + 1,18\xi k_T - 0,17k_R^2 - 0,58\xi^2 - 10,8k_T^2. \quad (17)$$

(15) теңдеуді шешудің нәтижелерін қолдана отырып, екі өлшемді қималар құрылды, олардың көмегімен оңтайландыру критерийінің жұптасқан (синергетикалық) координаттарға тәуелділігі құрылды, бұл таңдалған үш фактордың оңтайлы мәндерін анықтауға мүмкіндік берді, яғни $k_R = 9,6$; $\xi = 14,2$; $k_T = 0,75$.

Бұл өз кезегінде таңдалған есептік мәндерге пропорционалды жұмыс параметрлерінің оңтайлы мәндерін анықтауға мүмкіндік берді.

3-суретте жоғарыда қарастырылып отырған факторларға байланысты жылу өткізгіштік коэффициентінің өзгеру бетін сипаттайтын процестің жалпы математикалық моделінің графикалық бейнесі көрсетілген.



3-сурет. Негізгі параметрлерге байланысты жылу тарату процесінің математикалық моделінің графикалық бейнесі

Ескерту – авторлармен құрастырылған

3-суретте қосалқы шкивтің X_1 , X_2 , X_3 факторларына сәйкес жылуды алып кету көрсеткіштеріне $k_R = 9,6$; $\xi = 14,2$; $k_T = 0,75$ байланысты жылу тарату аймақтары көрсетілген. Графиктен қосалқы шкивтің жиектерінде температураның жоғары мәнде болатынын көруге болады.

X_1 – негізгі және қосалқы шкивтердің қималарының қалыңдығының қатынасы k_R ;

X_2 – жылу өткізгіш қабырғалар арасындағы бұрыш, ξ ;

X_3 – қабырғалардың келтірілген қалыңдығының көмекші шкивтің жылу өткізгіш дөңгелек бетінің мөлшеріне қатынасы, k_T .

(1), (2) формуласы бойынша k_R , k_T және ξ коэффициенттерінің мәндерін қолдана отырып, кейбір жұмыс істейтін бұрғылау шығырларының тежегіш жүйесінің қосымша жылу таратқыш шкивінің конструктивті параметрлері анықталды. Есептеу нәтижелері 4-кестеде келтірілген.

4-кесте. Жылу өткізгіш шкивтің құрылымдық параметрлері

| Бұрғылау шығырының маркасы | Параметрлері, мм | |
|----------------------------|------------------|---------|
| | r'_g | r''_g |
| ЛБ -750 | 240 | 107 |
| У2-5-5 | 290 | 157 |
| ЛБУ - 1100 | 265 | 132 |

Ескерту – авторлармен құрастырылған

Қорытынды. Теориялық тұрғыдан зерттелген және негізделген бұрғылау шығырының тежегіш жүйесіндегі жылудың таралуының математикалық моделі, бұл физикалық процесті және жылуды неғұрлым қыздырылған элементтен аз қыздырылған элементке беру бағытын қамтамасыз етуге, сондай-ақ тежегіш шкиві мен таспаның өлшемдерін есептеп шығаруға мүмкіндік береді.

Қосымша салқындатуды ескере отырып, бұрғылау шығырының тежеу жүйесіндегі жылу беру процесінің математикалық моделін сипаттайтын регрессия тендеулері алынды.

Құрылған регрессиялық математикалық-статистикалық модельді өңдеу негізінде компьютерлік экспериментті жүзеге асыру арқылы өлшемсіз k_R , k_T және ζ параметрлерінің оңтайлы мәндерін анықтауға болады, олар оңтайландыру критерийлері λ_R экстремалды мәндеріне сәйкес келеді. Факторлардың оңтайлы мәндеріне $k_R = 9,6$; $k_T = 0,75$; $\zeta = 14,2$ бұрғылау шығырының тежегішінің құрылымдық-геометриялық параметрлері сәйкес келеді.

Әдебиеттер тізімі

- A. Mani, Tripathi, Oil well drilling activities recognition using a hierarchical classifier, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2021, 196, 107883, doi: 10.1016/j.petrol.2020.107883.
- B.A. Bilashev, K.A. Ikhsanov, G.E. Kalesheva, The technology of producing of drilling fluids based on various clays, *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*, 2017, 64-66, doi: 10.24887/0028-2448-2017-4-64-66.
- Samal Akhmetzhan, Bauyrzhan Bilashev, Kairbek Ikhsanov, Gulmira Kalesheva and Ainash Mukambetkaliyeva Human Optimization of Drill Winch Brake Cooling System for Improved Working Process Parameter Engineered Science. Engineered Science Publisher LLC 2023. DOI: <https://dx.doi.org/10.30919/es8d881>
- Ахметов Н.М. (2007). Моделирование процесса охлаждения тормоза буровой лебедки с целью оптимизации рабочих параметров. *Известия НАН РК*. – Серия: физико-математическая. – № 6. – С. 34-37 // Ahmetov N.M. (2007). Modelirovanie processa ohlazhdenija tormoza burovoy lebedki s cel'ju optimizacii rabochih parametrov // Izvestija NAN RK. – Serija: fiziko-matematicheskaja. – № 6. – S. 34-37.
- Бокова Л.Г. (2020). Количественная оценка производственной технологичности изделий: Монография / Л.Г. Бокова, П.Ю. Бочкарев, Г.С. Гумаров, К.А. Ихсанов. – Уральск. ТОО «Полиграфсервис», – С. 128 // Bokova L.G. (2020). Kolichestvennaja ocenka proizvodstvennoj tehnologichnosti izdelij: Mono-grafija / L.G. Bokova, P.Ju. Vochkarev, G.S. Gumarov, K.A. Ihsanov. – Ural'sk. ТОО «Poligrafser-vis». – S. 128.
- Зозуля В.П., (2021). Зозуля Н.Е., Магруппов А.М. Промывка скважин. Учебное пособие. Ташкент. Филиал НИУ нефти и газа имени И.М. Губкина в городе Ташкенте, 621 с. // Zozulja V.P., (2021). Zozulja N.E., Magrupov A.M. Promyvka skvazhin. Uchebnoe posobie. Tashkent. Filial NIU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina v gorode Tashkente, 621 s.
- Ихсанов К.А. (2023). Бұрғылау процесінің тиімділігін арттыруға әсер ететін жұмыс параметрлерін зерттеу және техникалық құралдарды жетілдіру: монография/ құраст. К.А. Ихсанов. – Орал: БҚИТУ, 2023. – 93 б. // Ikhsanov K.A. (2023). Bұrғылау procesiniñ tiimdiligin arttyruға әser etetin zhұmys parametrovlerin zertteu zhәne tehnikalyқ құraldardy zhetildiru: monografija / құrast. K.A. Ikhsanov. – Oral: BҚITU, 2023. – 93 b.
- Колемаев В.А. (2017). Калинина В.Н. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. – 352 с. -5-238-00560-1. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71075.html>. -ЭБС «IPRbooks» // Kolemaev V.A. (2017). Kalinina V.N. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. Uchebnik. – M.: JuNITI-DANA, 2017. – 352 c. -5-238-00560-1. -Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/71075.html>. – JeBS «IPRbooks».

- Кульчицкий В.В. (2019). Проектирование строительства нефтяных и газовых скважин. Нормативные требования. Учебно-методическое пособие. М., Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 253 с. // Kul'chickij V.V. (2019). Proektirovanie stroitel'stva neftjanyh i gazovyh skvazhin. Normativnye trebovanija. Uchebno-metodicheskoe posobie. M., Izdatel'skij centr RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina, 253 s.
- Матальцкий, М.А. (2017). М33 Теория вероятностей и математическая статистика: учебник / М.А. Матальцкий, Г.А. Хацкевич. – Минск: Вышэйшая школа. – 591 с.: ил. // Matalyckij, M.A. (2017). M33 Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika: uchebnik / M.A. Matalyckij, G.A. Hackedvich. – Minsk: Vyshjejhaja shkola. – 591 s.: il.

Information about authors

Ikhsanov Kayyrbek – Candidate of Technical Science, West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Ihsanova 44/1, 87775746360, ikhsanov_k@mail.ru

Kalesheva Gulmira – West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Ihsanova 44/1, 87754122640, E-mail: Kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru*

Uteeva Toigan – Master of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Ihsanova 44/1, 87752783326, E-mail: Uteevatoigan@inbox.ru

Shanenov Nauryz – West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Ihsanova 44/1, 87074520898, E-mail: Nauryzshanenov@gmail.com

ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ
REMOTE SENSING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_62
MPHTI 36.16.03

**Х.М. Касымканова¹, А. Кенесбаева², Э.О. Орынбасарова³,
К.А. Жанакүлова⁴, Б. Адебиет⁵**

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан

¹E-mail: k.kassymkanova@satbayev.university

²E-mail: agna68@mail.ru*

³E-mail: e.orynbassarova@satbayev.university

⁴E-mail: 920103402123-d@stud.satbayev.university

⁵E-mail: astbaha6@gmail.com

**ПОДГОТОВКА ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
МОДЕЛИ ГЕОИДА КАЗАХСТАНА**

**ҚАЗАҚСТАН ГЕОИДІНІҢ МОДЕЛІН ҚҰРУ ҮШІН ГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ
НЕГІЗДІ ДАЙЫНДАУ**

PREPARING THE GRAVIMETRIC BASE TO CREATE A GEOID MODEL OF KAZAKHSTAN

Аннотация. Статья посвящена вопросу подготовки гравиметрических данных для создания модели геоида Республики Казахстан. Региональная модель геоида позволит решить ряд научно-практических задач, а также будет способствовать широкому использованию экономических ГНСС-измерений взамен трудоемких и дорогостоящих нивелирных работ при определении высот точек. Гравиметрическая основа модели геоида создается в виде карты аномалии силы тяжести. Действующие гравиметрические карты Казахстана начали создаваться в начале 70-х годов прошлого столетия и были завершены в 2001 году, обеспечив всю территорию страны гравиметрической основой. Однако в последние десятилетия в условиях стремительного развития науки и технологий значительно возросли требования к точности и детализации гравиметрических данных. В связи с этим появляется необходимость

в подготовке современной гравиметрической карты Казахстана, которая послужит исходной информационной базой при решении множества научных и технических задач, включая создание актуальной модели геоида страны. В данной статье рассматриваются современные методики создания гравиметрических карт, а также приводятся примеры зарубежного опыта. Также описаны этапы разработки современной карты аномалий силы тяжести в редукциях Буге для территории Казахстана. Освещен процесс создания интегрированной базы данных в программной среде ArcGIS с пространственной привязкой пунктов гравиметрической сети в системе координат WGS 1984 и в Балтийской системе высот. Обновленная гравиметрическая карта Казахстана может послужить для изучения динамики гравитационного поля страны, анализа геологической структуры Земли, исследования тектонической активности на территории страны, а также для проведения геодинамических исследований в районах разработки месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: гравиметрическая карта, аномалия Буге, промежуточный слой, геоид, модель геопотенциала, спутниковая гравиметрия.

Аңдатпа. Мақала Қазақстан Республикасы геоидінің моделін құру үшін гравиметриялық мәліметтерді дайындау мәселесіне арналған. Аймақтық геоидтық модель бірқатар ғылыми және практикалық мәселелерді шешуге мүмкіндік береді, сонымен қатар нүктелердің биіктіктерін анықтау кезінде, көп еңбекті қажет ететін, өрі қымбат нивелирлеу жұмыстарын үнемді GNSS өлшемдерімен ауыстыруға ықпал етеді. Геоидтық модельдің гравиметриялық негізі ауырлық күші аномалияларының картасы түрінде құрылады. Қазақстанның қазіргі гравиметриялық карталары өткен ғасырдың 70-жылдарының басында құрыла бастады және 2001 жылы аяқталып, еліміздің барлық аумағын гравиметриялық негізбен қамтамасыз етті. Дегенмен, соңғы онжылдықтарда ғылым мен техниканың қарқынды дамуымен қатар, гравиметриялық мәліметтердің дәлдігі мен егжей-тегжейлілігіне қойылатын талаптар айтарлықтай өсті. Осыған байланысты, көптеген ғылыми-техникалық мәселелерді шешу үшін, оның ішінде еліміздің қазіргі заманғы геоидтық моделін құру үшін де бастапқы ақпараттық база болатын, Қазақстанның қазіргі заманғы гравиметриялық картасын дайындау қажеттілігі туындап отыр. Бұл мақалада гравиметриялық карталарды құрудың заманауи әдістері қарастырылып, сонымен қатар, шетелдік үздік тәжірибенің мысалдары келтірілген. Сондай-ақ, Қазақстан аумағы үшін Буге редукцияларындағы ауырлық күші аномалияларының қазіргі заманғы картасын жасау кезеңдері сипатталған. WGS 1984 координаттар жүйесіндегі және Балтық биіктік жүйесіндегі гравиметриялық тор нүктелерінің кеңістіктік сілтемесі бар ArcGIS бағдарламалық ортасында біріктірілген деректер қорын құру процесі қамтылған. Қазақстанның жаңартылған гравиметриялық картасы ел төңірегіндегі гравитациялық өрістің динамикасын зерттеуге, жердің геологиялық құрылымын талдауға, мемлекет аумағындағы тектоникалық белсенділікті зерделеуге, сондай-ақ пайдалы қазбалар кен орындары игерілетін аймақтарда геодинамикалық зерттеулер жүргізуге қызмет ете алады.

Түйін сөздер: гравиметриялық карта, Буге аномалиясы, аралық қабат, геоид, геопотенциалдық модель, спутниктік гравиметрия.

Abstract. The regional geoid model will allow solving a number of scientific and practical problems, and will also promote the widespread use of cost-effective GNSS measurements to replace labor-intensive and expensive leveling work when determining the heights of points. The gravimetric basis of the geoid model is created in the form of a gravity anomaly map. The current gravimetric maps of Kazakhstan began to be created in the early 70s of the last century and were completed in 2001, providing the entire territory of the country with a gravimetric basis. However, in recent decades, in the context of rapid development of science and technology, the requirements for the accuracy and detail of gravimetric data have increased significantly. In this regard, there is a need to prepare a modern gravimetric map of Kazakhstan, which will serve as the initial information base for solving many scientific and technical problems, including the creation of an up-to-date model of the country's geoid. This article discusses modern methods for creating gravimetric maps, and provides examples of foreign experience. It also describes the stages of developing a modern map of Bouguer gravity anomalies for the territory of Kazakhstan. The process of creating an integrated database in the ArcGIS software environment, with spatial referencing of gravimetric network points in the WGS 1984 coordinate system and in the Baltic height system is covered. The updated gravimetric map of Kazakhstan can be used to study the dynamics of the country's gravitational field, analyze the geological structure of the Earth, study tectonic activity in the country, as well as conduct geodynamic studies in the areas of mineral deposits development.

Keywords: gravimetric map, Bouguer anomaly, intermediate layer, geoid, geopotential model, satellite gravimetry.

Введение. В связи с модернизацией системы государственного геодезического обеспечения Республики Казахстан выполняется обновление государственной геодезической, нивелирной и гравиметрической сети (Афонин, Кинжигужинов & Дрозд, 2021). В рамках данного проекта рассматриваются переход к новой геоцентрической системе координат, а также построение региональной модели геоида Казахстана, которая позволит решить проблему перехода из эллипсоидальных высот, полученных методом ГНСС-наблюдений, к геоидальным, полученным путем геометрического нивелирования.

Геоид представляет собой уровенную поверхность, совпадающую со средним уровнем морей и океанов, мысленно продолженную под материками. Модель геоида показывает высоту его точек над поверхностью эллипсоида, который служит математической моделью Земли (Kim, Yun & Choi, 2020). При создании региональной модели геоида происходит уточнение глобальных моделей гравитационного поля планеты на определенной площади. Технология создания подобной модели включает построение первичной модели геоида по данным наземной гравиметрической съемки с учетом рельефа местности, а затем уравнивание модели геоида по разностям спутниковых и нивелирных высот. В итоге получают комбинированную или гибридную модель регионального геоида (Непоклонов, 2020).

На территории большинства развивающихся стран и практически во всех развитых странах созданы современные цифровые модели геоида, отвечающие современным требованиям точности. К примеру, построены современные модели геоида для Европы, Южной Америки, Африки и Австралии. Цифровые модели геоида, построенные за последние десятилетия, выполнены с разрешающей способностью от одной до пяти минут, а точность достигает нескольких дециметров.

Качество моделирования регионального геоида зависит от гравиметрической и топографической изученности территории страны. На поверхности планеты покрытие гравиметрическими съемками остается неравномерным, местами даже с присутствием белых пятен.

При построении модели геоида Казахстана исходными материалами могут служить: существующие глобальные модели геоида (рис. 1); имеющиеся гравиметрические карты двухсоттысячного масштаба и крупнее; данные GPS-измерений, полученные из различных доступных источников международного и местного значения.

Гравиметрической основой для создания цифровых моделей геоида могут служить карты аномалий силы тяжести в редукциях Буге или в свободном воздухе. В связи с этим возникает задача создания актуальной гравиметрической карты всей территории Казахстана.

Обзор литературы. Вопрос создания новой государственной гравиметрической карты является актуальным для многих стран мира, поэтому на сегодняшний день многие страны строят современные гравиметрические карты с совместным использованием цифровых моделей рельефа и глобальных моделей геопотенциала, а также точных и детальных гравиметрических измерений.

В настоящее время создаются многочисленные обновленные национальные карты аномалий силы тяжести с эффективным использованием улучшенных топографических и геопотенциальных моделей и все более совершенных гравиметрических данных. С применением современных подходов относительно недавно были созданы несколько новых карт в европейских странах: Австрии, Венгрии, Италии и Хорватии (Varga & Stipčević, 2021), а также в Словении, Бразилии и Китае. Рассмотрим некоторые из них в качестве примера.

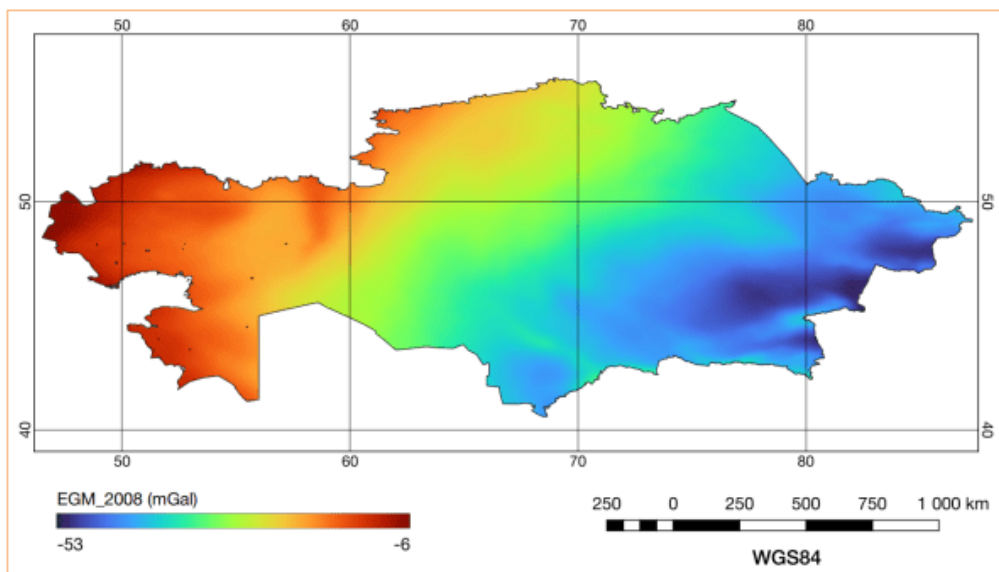


Рисунок 1. Модель геоида EGM_2008 на территории РК

Примечание – составлено автором на основе (ICGEM International Centre for Global Earth Models)

До последнего времени в Словении использовалась карта аномалий Буге, созданная во второй половине предыдущего века в Потсдамской гравиметрической системе. В 1996 году Словения приступила к формированию новой гравиметрической сети (на базе гравиметрической системы IGSN71) с целью создания новой национальной системы высот и новой модели квазигеоида (Medved, Odalović & Koler, 2021).

Для расчета новой системы отсчета высот в Словении были проведены региональные гравиметрические измерения. До этого был проведен анализ плотности существующих гравиметрических точек. На основании этого было выдвинуто предложение по уплотнению точек в районах с недостаточной плотностью точек (Medved, Kuhar & Koler, 2019). В ходе работы использованы оригинальные цифровые модели местности на территории Словении совместно с данными SRTM-3 v2.1 (Shuttle Radar Topography Mission). Также использованы наборы старых и новых гравиметрических данных совместно с гравиметрическими данными по приграничным территориям соседних стран (Италия, Австрия и Венгрия). Большинство этих данных были использованы для создания квазигеоида Словении. Старый набор данных преобразован из исходных координат Гаусса-Крюгера (эллипсоид Бесселя) в поперечные координаты Меркатора ETRS89 (эллипсоид GRS80). Полная гравитационная аномалия Буге для Словении была получена путем введения поправки за рельеф к гравитационным аномалиям Буге.

Новые карты гравитационных аномалий в свободном воздухе и в редукциях Буге были составлены для территории Бразилии. В процессе работы были интегрированы все доступные гравиметрические данные вместе с новыми данными, полученными за последние годы (dos Santos & Zanon et al, 2022). Контроль качества и последующие процессы привязки к координатной сетке в единой системе всего набора данных разработаны с помощью программного обеспечения Oasis Montaj. Области без покрытия данными в северном регионе Бразилии дополнены значениями силы тяжести из геопотенциальной модели XGM2019e. Полученные новые карты гравитационных аномалий в свободном воздухе и в редукциях Буге показывают более подробные коротковолновые геологические структуры, чем их предшественники.

Четыреста семьдесят восемь базовых гравитационных станций в Ираке были использованы для построения карты аномалий Буге Ирака (Al-Banna, Al-Karadaghi & Abdullah, 2020). Эта карта сравнивалась с картой Буге, построенной для тех же станций по международной формуле. Отмечено хорошее сходство форм и расположение аномалии, при этом значения гравитационной аномалии на новой карте увеличены примерно на 30 мГал. Восточная контурная линия нулевой гравитации на новой полученной гравитационной карте совпадает с западной границей тектонической Месопотамской зоны. При этом большинство отрицательных гравитационных аномалий локализованы в Месопотамской области, где расположена основная часть месторождений углеводородов восточной части этой страны. Зоны отрицательной гравитации подтверждают границы самых глубоких пород осадочного бассейна Ирака. Полученные результаты очень ценны для геологических приложений.

Современные гравиметрические карты, построенные в результате интеграции наземных, спутниковых и морских наблюдений за гравитационным полем, вместе с планетарными моделями геопотенциала служат основой при решении широкого круга научно-технических задач, к числу которых относятся: определение характеристик гравитационного поля (Голдобин, 2019), построение геологической модели земной коры (Исагалиева, Исаев & Истекова, 2021), оценка глубины залежей полезных ископаемых (Shirazy et al., 2021), исследование геодинамической активности территорий (Исагалиева, 2023).

Гравиметрическая изученность Казахстана. Первая гравиметрическая карта Казахстана в масштабе 1:200 000 была издана в 1961 г. и в течение 40 лет систематически издавалась вплоть до 2001 г., когда было завершено ее издание на всю огромную территорию Республики Казахстан, составляющую более 2700 тыс. км². Карты аномалий силы тяжести в редукциях Буге построены в двухсоттысячном масштабе для плотности промежуточного слоя 2,30 г/см³ и 2,67 г/см³. При их составлении были использованы данные гравиметрических съемок более крупных масштабов, имеющиеся на территории листа на год составления.

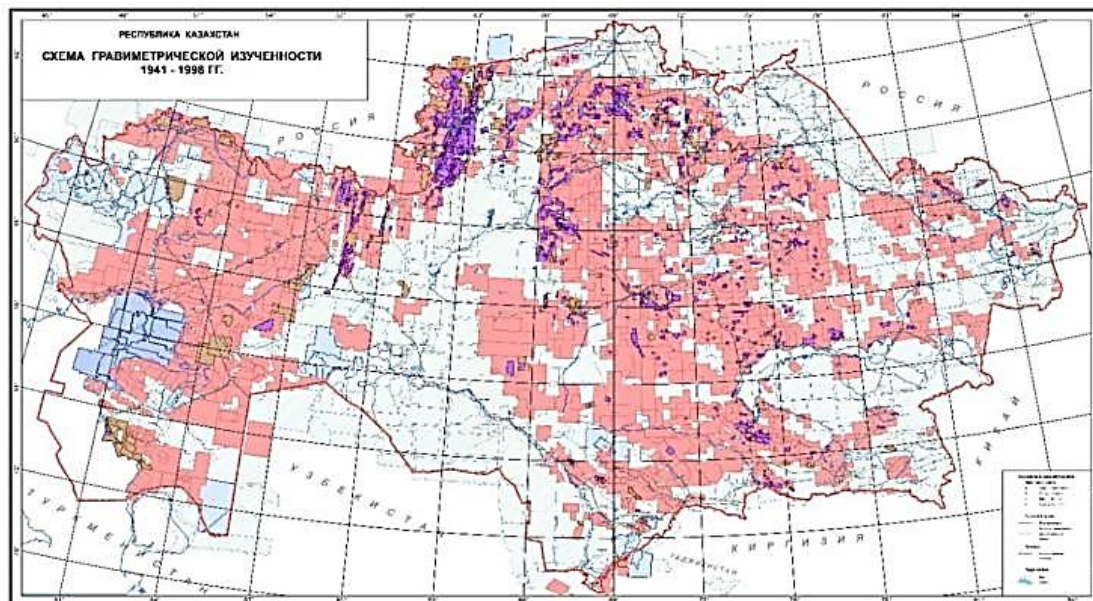
За период с 1941 по 1998 гг. на территории Республики Казахстан выполнены следующие виды гравиметрических работ (Технический отчет ТОО «НПЦ Геокен, 2023):

1. Гравиметрическая съемка масштаба 1:200 000 - 1:100 000 на площади 2680 тыс. км² по сети 4-3x2 км с сечением карт 1-2 мГал. Северо-восточная часть акватории Каспийского моря обеспечена гравиметрической съемкой масштаба 1:100 000 по сети 2x1 км (рис. 2).

2. Гравиметрическая съемка масштаба 1:50 000 и 1:25 000 с сечением карт от 0,2 до 1 мГал на площади 1220 тыс. км², что составляет 44 % территории республики.

3. Гравиметрическая съемка масштаба 1:10 000 - 1:5 000 на площади 82 тыс. км², что составляет 3 % территории республики; сеть съемки 500-50 x 100-50 м, сечение карт 0,1 - 0,2 - 0,25 мГал. Государственная опорная гравиметрическая сеть на территории Республики Казахстан представлена государственной гравиметрической сетью (ГГС) I класса в количестве 77 пунктов с точностью ±0,03 - 0,04 мГал; ГГС II класса – в количестве 758 пунктов с точностью ±0,06 мГал; ГГС III класса – в количестве 3500 пунктов с точностью ±0,02 - 0,04 мГал (относительно пунктов I класса).

По результатам гравиметрических данных, полученных на всю площадь Казахстана, созданы карты аномалий силы тяжести масштабов: 1:1000 000, 1:500 000 и 1:200 000. Для перспективных районов подготовлена к изданию серия гравиметрических карт масштаба 1:50 000 (более 100 трапещей).



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Контурь наземных гравиметрических съемок масштаба:

■ - 1:10 000 ■ - 1:25 000 ■ - 1:50 000 ■ - 1:100 000 ■ - 1:200 000

■ - контурь морских гравиметрических съемок масштаба 1:100 000 с донными гравиметрами

Рисунок 2. Схема гравиметрической изученности за период с 1941 по 1998 гг.

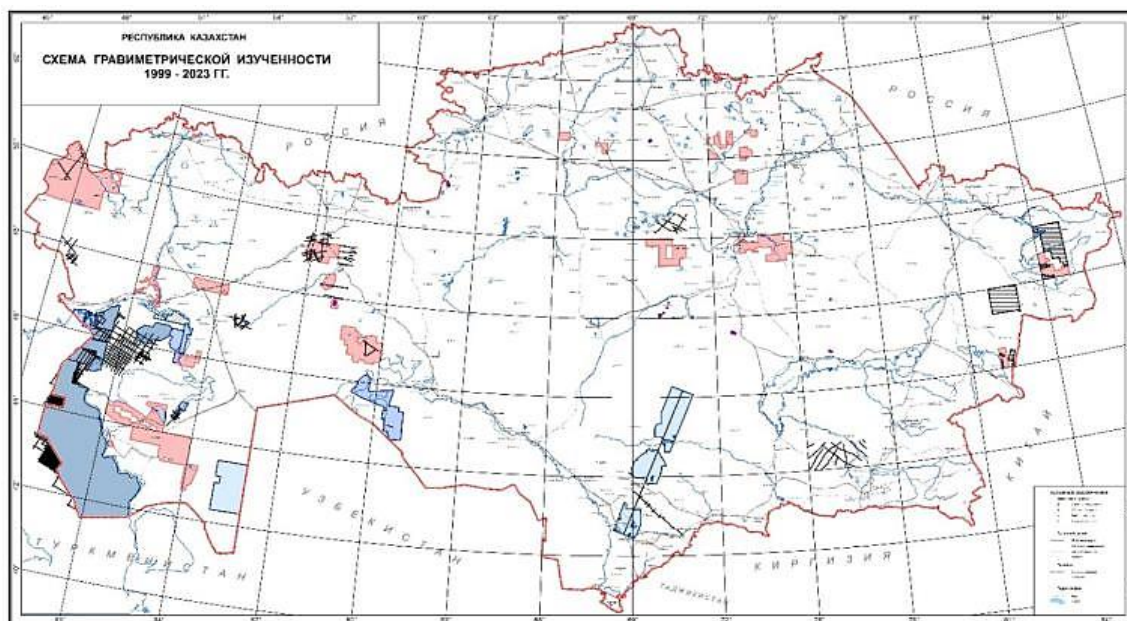
Примечание – составлено автором на основе (Технический отчет о результатах выполненных работ по составлению гравиметрической основы для определения модели геоида. ТОО «НПЦ Геокен», 2023)

Из общего объема выполненных гравиметрических работ в Казахстане 85 % выполнили организации Министерства геологии Казахской ССР. В Западном Казахстане гравиметрические работы также проводили тресты «Саратовнефтегеофизика», «Эмбанефтегеофизика», «Мангышлакнефтегеофизика» Министерства нефтяной промышленности СССР, в Центральном, Северном и Южном Казахстане – Волковская, Зеленогорская и Краснохолмская экспедиции I-го Главного геологического управления Министерства геологии СССР (МГ СССР). Морские работы и опорную сеть II класса выполняли экспедиции МГ СССР. Опорная сеть I класса создана экспедициями ГУГиК (Главное управление геодезии и картографии).

Начиная с 1998 г., большая часть гравиразведочных работ на суше, акватории Казахстанского сектора Каспийского моря (КСКМ), Аральского моря, Бухтарминского водохранилища выполнялись на отдельных участках по госзаказу или заказам недропользователей силами этой компании под руководством Шагирова Б.Б., Лапина А.В., Коврижных П.Н., Архипова В.К., Золотова А.А. и др. (рис. 3).

На территории Западного Казахстана были выполнены гравиметрические съемки в масштабах 1:50 000 и 1:100 000 в период с 2001 по 2022 гг. с целью изучения глубинного геологического строения недр, выделения локальных структур и участков, перспективных для добычи углеводородного сырья.

С целью решения задач опережающей геофизики для ГДП-200 выполнены гравиметрические съемки масштаба 1:50 000 на территории Центрального и Восточного Казахстана в 2014-2015 гг., а также в Западном Казахстане в 2022-2023 гг.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Контурь наземных гравиметрических съемок масштаба:

■ - 1:10 000 ■ - 1:25 000 ■ - 1:50 000 ■ - 1:100 000

Контурь морских гравиметрических съемок масштаба:

■ - 1:50 000 в транзитной зоне ■ - 1:50 000 по льду ■ - 1:100 000-1:200 000 с набортными гравиметрами

▨ - контурь аэрогравиметрических съемок масштаба 1:100 000

Рисунок 3. Схема гравиметрической изученности за период с 1999 по 2023 гг. [14]

Примечание - составлено автором на основе (Технический отчет о результатах выполненных работ по составлению гравиметрической основы для определения модели геоида. ТОО «НПЦ Геокен», 2023)

В период 2006-2011 гг. выполнены морские гравиметрические измерения на территории КСКМ, а также серия региональных профилей для увязки с ранее выполненными гравиметрическими съемками.

Впервые на территории Казахстана на участках Маканчинском и Бухтарминском в 2015 г. ТОО «НПЦ «ГЕОКЕН» выполнена аэрогравиметрическая съемка масштаба 1:100 000 по сети 500x5000 м.

Необходимо отметить выполнение повторных высокоточных гравиметрических измерений с точностью не хуже $\pm 0,007$ мГал на месторождениях УВС Республики Казахстан в рамках геодинамического мониторинга для обеспечения продолжительного наблюдения за деформацией горных пород и движением флюидов в геологической структуре месторождения углеводородов и выполнения корреляционного анализа изменения гравитационных аномалий в процессе добычи полезных ископаемых. Основными исполнителями этих работ были ТОО «Экогеоунайгаз», ТОО «НПЦ «ГЕОКЕН», ТОО «Жанажол Мунай Сервис». В настоящее время эти исследования проводятся не менее чем на 50 месторождениях УВС.

В 1997 г. по Республиканским бюджетным программам начата цифровизация гравиметрических данных. Оцифровка и создание базы данных (БД) гравиметрической изученности были выполнены РГП «Специализированное гравиметрическое предприятие» (далее РГП «СПП») в 1997-2002 гг.

Начиная с 1997 г. и по 2016 г. включительно, РГП «СГП» выполняло оцифровку данных первичных наблюдений гравиметрических съемок по Республике Казахстан, пополняя Банк гравиметрических данных (БГД) Республики Казахстан. К настоящему времени оцифровано 43 % от общих объемов оцифровки.

Материалы и методы исследования. Гравиметрические карты создаются в основном в виде карт аномалий силы тяжести в свободном воздухе и в редукциях Буге. Аномалия силы тяжести представляет из себя разность между измеренным значением силы тяжести g на поверхности Земли и вычисленным значением силы тяжести γ_0 на поверхности эллипсоида.

Нормальное значение силы тяжести γ_0 вычисляется по формуле Гельмерта:

$$\gamma_0 = 987030(1 + 0.005302\sin 2\varphi - 0.000007\sin^2 2\varphi) - 14 \text{ мГал}, \quad (1)$$

где γ_0 – нормальное значение силы тяжести; φ – широта места наблюдения.

В процессе определения аномалии силы тяжести $\Delta g_{\text{св.}}$ в свободном воздухе вводится поправка δg_1 за высоту точки H^Y над уровнем моря, мГал.

$$\Delta g_{\text{св.}} = g - (\gamma_0 + \delta g_1), \quad (2)$$

где $\Delta g_{\text{св.}}$ – аномалия силы тяжести в свободном воздухе; g – измеренное значение силы тяжести; γ_0 – нормальное значение силы тяжести; δg_1 – поправка за высоту точки H^Y над уровнем моря.

$$\delta g_1 = -0.30855(1 + 0.00071\cos 2\varphi)H^Y, \quad (3)$$

где δg_1 – поправка за высоту точки H^Y над уровнем моря; φ – широта места наблюдения; H^Y – высота точки над уровнем моря.

Причиной существования аномалии силы тяжести в свободном воздухе является различие между формами и плотностью реальной Земли и Нормальной Земли (уровненным эллипсоидом).

При определении силы тяжести в редукциях Буге вводится поправка δg_2 за влияние топографических масс, учитывающая плотность промежуточного слоя между уровнем моря и физической поверхностью Земли.

$$\Delta g_{\text{Б}} = g - (\gamma_0 + \delta g_1) + \delta g_2, \quad (4)$$

где $\Delta g_{\text{Б}}$ – силы тяжести в редукции Буге; g – измеренное значение силы тяжести; γ_0 – нормальное значение силы тяжести; δg_1 – поправка за высоту точки H^Y над уровнем моря; δg_2 – поправка за влияние топографических масс.

$$\delta g_2 = -0.0419\bar{\rho}H^Y, \quad (5)$$

где δg_2 – поправка за влияние топографических масс; $\bar{\rho}$ – средняя плотность пород промежуточного слоя; H^Y – высота точки над уровнем моря.

Технология построения гравиметрической карты состоит из следующих этапов: выбор масштаба карты и сечения изоаномал; интеграция всех гравиметрических измерений в единую систему; определение плотности слоя; интерполяция значений Δg и оформление самой карты (Кузнецов, Куделина, Леонтьева & Фатюнина, 2020).

Согласно инструкции по гравиметрической разведке, гравиметрические карты создаются в рамках отдельных трапедий определенного масштаба в проекции Гаусса в системе координат 1942 г. К примеру, размер трапеции двухсоттысячного масштаба составляет 10 минут по широте и 15 минут по долготе. Топографическая часть карты вместе с сеткой географических и прямоугольных координат должна представлять основную ситуацию на местности: населенные пункты, дороги, гидрографию и другие

значимые объекты местности. Нанесение на карту гравиметрических пунктов является строго обязательным. При этом точность нанесения должна быть 0,2 мм в масштабе карты.

На картах масштаба 1: 100 000 и мельче значения аномалий подписываются с точностью до 0,1 мГал, на крупномасштабных картах (за исключением горных районов) – с точностью 0,01 мГал.

В верхней части карты должны быть приведены: гравиметрическая система, вид аномалии силы тяжести, учтенные поправки при вычислении аномалий силы тяжести, принятая плотность промежуточного слоя, формула, по которой вычислена нормальная сила тяжести, номенклатура карты.

Если требуется учесть влияние рельефа территории, в аномалию Δg в обязательном порядке вводятся поправки, вычисленные с плотностью 2,67 г/см³ и реальной. При составлении гравиметрической карты плотностью промежуточного слоя 2,30 г/см³ поправка за рельеф не вводится. В случае если реальная плотность равна 2,30 г/см³, составляется дополнительная интерпретационная карта с введением поправок за рельеф.

Процессу создания гравиметрических карт предшествует этап анализа существующих карт и материалов отчетов по выполненным гравиметрическим съемкам на территории страны.

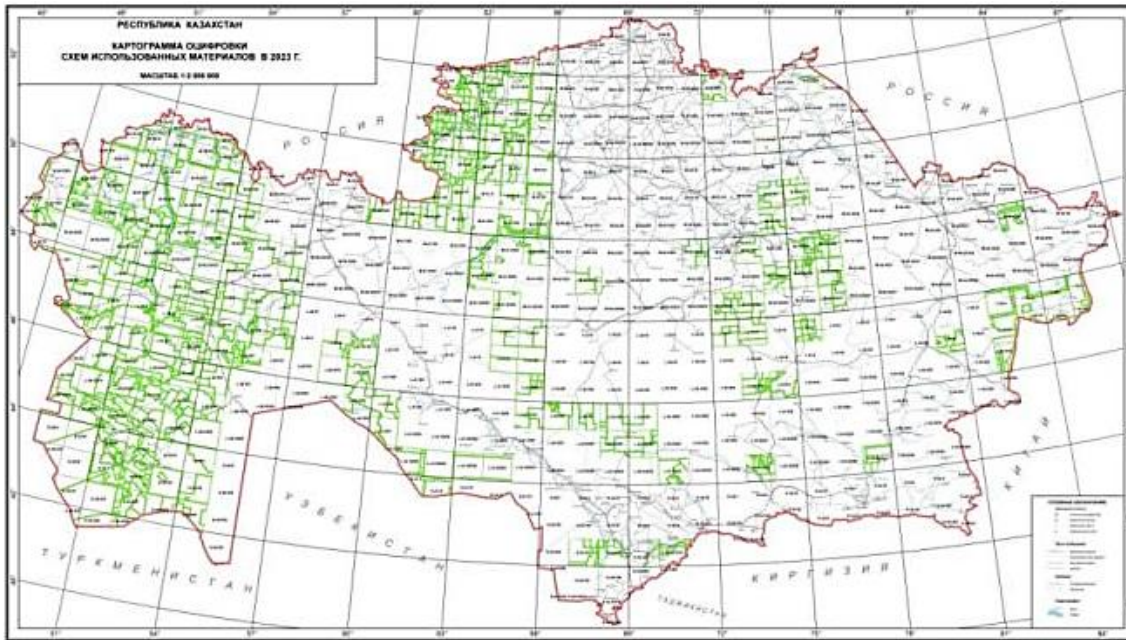
Результаты и их обсуждение. В рамках реализации Программы целевого финансирования по моделированию геоида для территории Казахстана принято решение о создании карт аномалий силы тяжести в редукциях Буге с плотностью промежуточного слоя $\rho_{пр.} = 2,67$ г/см³ в масштабе 1:200 000 в геоинформационной системе ArcGIS версии 10.x.

В настоящее время активно ведутся работы по пространственной привязке необходимых карт, для качественного выполнения которых разработаны технология геопространственной привязки карт в ПО ArcGIS и структура систематизированного хранения данных. Начата работа по оцифровке значений аномалий Буге при плотности промежуточного слоя 2,67 г/см³ и приложения к ним со значениями высот и поправок за рельеф на пунктах наблюдений. Подготовлена цифровая информация по 227 листам гравиметрических карт масштаба 1:200 000 из 591 листа по всей площади Казахстана. На рис. 4 показана картограмма результатов оцифровки схем использованных материалов.

Данные сведены в единую структурированную пространственную базу данных, которая позволит в последующем выполнять работы по составлению гравиметрической основы для определения модели геоида Казахстана. Все растровые и векторные данные приведены в единую систему координат WGS 1984 и Балтийскую систему высот. Каждый лист гравиметрической карты сопровождается информацией о схеме использованного гравиметрического материала (рис. 5). Также приводится информация об организации, выполнявшей гравиметрическую съемку, год съемки, точность и масштаб (табл. 1).

Совместная обработка всех видов гравиметрических измерений, полученных за последнее время, позволяет повысить детальность и точность составления гравиметрической карты нашей страны. Новая карта аномалий силы тяжести будет отражать реальные гравитационные характеристики, которые послужат полезной информацией для проведения геофизических и геологических исследований.

Применение современного программного обеспечения для хранения, обработки и визуализации данных позволяет повысить эффективность процесса построения гравиметрической карты, демонстрируя превосходные результаты при меньших затратах времени по сравнению с прежними методами.




 Контурсы отчетов, оцифрованных по схемам использованных материалов

Рисунок 4. Картограмма результатов оцифровки схем использованных материалов

Примечание - составлено автором



Рисунок 5. Пример оцифровки схемы использованных материалов

Примечание - составлено автором

Таблица 1. Пример заполнения атрибутивной таблицы слоя Used_material

| Номер контура | Организация, выполнившая съемку | Авторы отчета | Год съемки | Масштаб съемки | Номер ТГФ | СКО высот, м | Метод определения высот |
|---------------|--|-----------------------------|------------|----------------|-----------|--------------|--|
| 2330 | Казахская аэрогеофизическая экспедиция КазНИИ минерального сырья | Волков А.И. | 1972 | 1:50 000 | 5213 | ± 0.37 | Геометрическое, тригонометрическое нивелирование |
| 2526 | Казахская аэрогеофизическая экспедиция КазНИИ минерального сырья | Волков А.И. Малетин В.И. | 1972 | 1:50 000 | 4783 | ± 0.05 | Геометрическое, тригонометрическое нивелирование |

Примечание – составлено автором

Закключение. В настоящий момент создается новая карта гравиметрических аномалий на всю обширную территорию Казахстана, основанная на современных методах расчета и обновленных входных данных как гравиметрических, так и ЦММ. Мы предполагаем, что новая карта аномалий силы тяжести территории Казахстана будет иметь более высокое качество и лучшее отражение гравитационного поля. Таким образом, данная гравиметрическая карта послужит гравиметрической основой для построения модели геоида Казахстана, а также позволит решать ряд геологических, геофизических и геодинамических задач на более высоком уровне.

Согласно плану реализации программы целевого финансирования, создание новой гравиметрической карты Казахстана должно быть полностью завершено до конца 2025 г. Она будет составлена в соответствии с требованиями точности и детальности, в единой гравиметрической системе, с пространственной привязкой к государственной геодезической сети и должна послужить гравиметрической основой для создания региональной модели геоида на всю территорию Казахстана. Новая карта аномалий силы тяжести будет использована для исследования характера изменения гравитационного поля на территории страны, для изучения глубинного геологического строения недр, тектонических процессов на территории Казахстана и геодинамических процессов на месторождениях полезных ископаемых.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882366 «Разработка модели геоида Республики Казахстан как основа единой государственной системы координат и высот»).

Список литературы

- Al-Banna A. S., Al-Karadaghi S. S., Abdullah H. H. (2020). The Bouguer anomaly map of Iraq according to a new local theoretical gravity equation and its geological importance. *Iraqi Journal of Science*, vol. 61, no. 6, 1392-1400, <https://doi.org/10.24996/ij.s.2020.61.6.17>.
- dos Santos R. P. Z. et al. (2022) New free-Air and Bouguer Gravity Anomalies Maps of Brazil. *Brazilian Journal of Geophysics*, vol. 40, no. 6, 19-28, <https://doi.org/10.22564/brjg.v40i6.2195>.
- ICGEM International Centre for Global Earth Models (ICGEM). URL: <http://icgem.gfz-potsdam.de/calcpoints/> (accessed 15 April 2024).

- Kim K. B., Yun H. S., Choi H. J. (2020). Accuracy evaluation of geoid heights in the national control points of south Korea using high-degree geopotential model. *Applied Sciences*, vol. 10, № 4, 1466, <https://doi.org/10.3390/app10041466>.
- Medved, K., Kuhar, M., Koler, B. (2019). Regional Gravimetric Survey of Central Slovenia. *Measurement*, vol. 136, 395–404, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.065>.
- Medved, K., Odalović, O., Koler, B. (2021). New Bouguer Anomaly Map for the Territory of the Slovenia. *Remote Sensing*, vol. 13, № 22, 4510, <https://doi.org/10.3390/rs13224510>.
- Shirazy A. et al. (2021). Geophysical study: Estimation of deposit depth using gravimetric data and Euler method (Jalalabad iron mine, kerman province of IRAN). *Open Journal of Geology*, vol. 11, no. 8, 340–355, <https://doi.org/10.4236/ojg.2021.118018>.
- Varga M., Stipčević J. (2021). Gravity anomaly models with geophysical interpretation of the Republic of Croatia, including Adriatic and Dinarides regions. *Geophysical journal international*, vol. 226, №3, 2189–2199, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab180>.
- Афонин К.Ф., Кинжигужинов С.М., Дрозд А.С. (2021). Анализ состояния государственной геодезической сети Республики Казахстан с учетом перспектив ее развития. Вестник СГУГиТ, Т. 26, № 1, 6-15. // Afonin K.F., Kinzhiguzhinov S.M., Drozd A.S. (2021). Analiz sostoyaniya gosudarstvennoi geodezicheskoi seti Respubliki Kazakhstan s uchetom perspektiv ee razvitiya. Vestnik SGUGiT, T. 26, № 1, 6-15.
- Голдобин Д.Н. (2019). Разработка методики комплексного определения характеристик гравитационного поля по данным глобальных моделей геопотенциала. дис., 201. // Goldobin D.N. (2019). Razrabotka metodiki kompleksnogo opredeleniya kharakteristik gravitatsionnogo polya po dannym global'nykh modelei geopotentsiala. dis., 201.
- Исагалиева А.К., Исаев В.И., Истекова С.А. (2021). Методика интерпретации гравиметрических данных при построении геологической модели земной коры Прикаспийского региона. Вестник Казахстанско-Британского технического университета, Т. 17, № 2, 21-29. // Isagalieva A.K., Isaev V.I., Istekova S.A. (2021). Metodika interpretatsii gravimetriceskikh dannykh pri postroenii geologicheskoi modeli zemnoi kory Prikaspiiskogo regiona. Vestnik Kazakhstansko-Britanskogo tekhnicheskogo universiteta, T. 17, № 2, 21-29.
- Исагалиева А.К. (2023). Геофизические критерии геодинамического районирования нефтегазоносных районов юга Прикаспийской впадины. дис., 180. // Isagalieva A.K. (2023). Geofizicheskie kriterii geodinamicheskogo raionirovaniya neftegazonosnykh raionov yuga Prikaspiiskoi vpadiny. dis., 180.
- Непоклонов В.Б. (2020). Разработка предварительной модели геоида на территорию страны по спутниковым данным (на примере республики Кот-Д'ивуар). Автореф. дис., 24. // Nepoklonov V. B. (2020). Razrabotka predvaritel'noi modeli geoida na territoriyu strany po sputnikovym dannym (na primere respubliky Kot-D'ivuar). Avtoref. dis., 24.
- Кузнецов О.Ф., Куделина И.В., Леонтьева Т.В., Фатюнина М.В. (2020). Геофизические методы поисков месторождений полезных ископаемых [Электронный ресурс]: учеб. пособие, 106. // Kuznetsov O.F., Kudelina I.V., Leont'eva T.V., Fatyunina M.V. (2020). Geofizicheskie metody poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Elektronnyi resurs]: ucheb. posobie, 106.
- ТОО «НПЦ Геокен» (2023). Технический отчет о результатах выполненных работ по составлению гравиметрической основы для определения модели геоида, 1 - 25. // ТОО «NPTs Geoken» (2023). Tekhnicheskii otchet o rezul'tatakh vpolnennykh rabot po sostavleniyu gravimetriceskoi osnovy dlya opredeleniya modeli geoida, 1 - 25.

Information about authors

Kassymkanova Kh.M. – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Kenesbayeva A. – PhD, Senior Lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), E-mail: a.kenesbayeva@satbayev.university; ORCID ID:0000-0002-0869-5762, +77077517163

Orynassarova E.O. – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University Almaty, Kazakhstan, E-mail: e.orynbassarova@satbayev.university, ORCID ID:0000-0001-6421-4698, +7 701 528 79 72

Zhanakulova K.A. – PhD student at the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Adebiyet B. – PhD student at the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

ГЕОДЕЗИЯ. КАРТОГРАФИЯ
ГЕОДЕЗИЯ. КАРТОГРАФИЯ
GEODESY. CARTOGRAPHY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_74
MFTAA 36.01

Г.С. Кусайынова¹, Е.Н. Хмырова², А.К. Сатбергенова², М.Б. Игемберлина², Ә.С. Тұяқбай³

¹«Геоинфо» ЖШС, Қарағанды қ., Қазақстан

*E-mail: gulzat.kusainova@mail.ru**

²«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды Техникалық Университеті» КЕАҚ,
Қарағанды қ., Қазақстан

E-mail: hmyrovae@mail.ru

E-mail: A.satbergenova2@gmail.com

E-mail: igemberlina@mail.ru

³Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Астана қ., Қазақстан

E-mail: assem_jan@mail.ru

МҰНАРА ҚҰРЫЛЫСТАРЫН САЛУДЫ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

ANALYSIS OF GEODETIC METHODS FOR ENSURING THE CONSTRUCTION OF TOWER STRUCTURES

Аңдатпа. Мақалада мұнара түріндегі өнеркәсіптік құрылымдар, олардың әртүрлі қолданылуы және осы құрылымдарды түсіру және бақылау үшін озық геодезиялық әдістерді, атап айтқанда Lidar және InSAR технологияларын пайдалану қарастырылады. Ол өуе, жер және мобильді лазерлік сканерлеу сияқты әртүрлі формаларын егжей-тегжейлі сипаттай отырып, Lidar технологиясының принциптері мен қолданылуына жан-жақты шолу жасайды. Талқылау барысында Lidar жан-жақтылығына, дәлдігі мен тиімділігіне баса назар аударылады, оның 3D модельдерін құрудағы, құрылымдық өзгерістерді бақылаудағы және техникалық қызмет көрсету мен басқару саласында негізделген шешімдер қабылдауға ықпал етудегі рөлі атап өтіледі.

Мақаланың мақсаты – мұнара құрылымдарының ауытқуларын, деформацияларын және орамдарын анықтау үшін қолданылатын заманауи әдістерді жан-жақты зерттеу және талдау.

Lidar және InSAR технологияларына баса назар аудара отырып, геодезиялық әдістерді зерттеу мұнара түріндегі өнеркәсіптік құрылымдарды түсіну мен бағалауды жақсарту үшін өте маңызды. Бұл технологияларды практикалық қолдану олардың бейімделуімен, нақты уақыттағы жұмыс қабілеттілігімен және экономикалық тиімділігімен бірге оларды құрылымның қауіпсіздігін, беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етудің маңызды құралдары ретінде орналастырады.

Автор иллюстрациялар мен схемаларды қолдана отырып, мұнара құрылымдарының орамдарын анықтауда әдістерді мұқият талдауды ұсынады. Мақала ауытқуларды есептеудің әдістемелік тәсілін ұсына отырып, мұнара құрылымдарының айналуымен байланысты проблемаларды жеңу туралы құнды ақпаратты ұсынады.

Қарастырылған әдістер инженерлер мен құрылыс мамандарына мұнара конструкцияларындағы ауытқуларды бағалаудың және азайтудың нақты әдістерін ұсынады. Теориялық маңыздылығы құрылымдар мен құрылысты жобалау саласын кеңейтуге ықпал ететін геодезиялық бақылау әдістерін жетілдіруде жатыр.

Түйін сөздер: Геодезиялық әдістер, мұнара түріндегі құрылыстар, орамды өлшеу.

Аннотация. В статье рассматриваются промышленные сооружения башенного типа, их разнообразные области применения и использование передовых геодезических методов, в частности технологий Lidar и InSAR, для съемки и мониторинга этих сооружений. В нем

представлен всесторонний обзор принципов и применений Lidarной технологии с подробным описанием ее различных форм, таких как воздушное, наземное и мобильное лазерное сканирование. В ходе обсуждения подчеркивается универсальность, точность и эффективность Lidara, подчеркивается его роль в создании 3D-моделей, мониторинге структурных изменений и содействии принятию обоснованных решений в области технического обслуживания и управления.

Целью статьи является всестороннее изучение и анализ современных методов, используемых для определения отклонений, деформаций и крена башенных сооружений.

Исследование геодезических методов с акцентом на технологии Lidar и InSAR крайне важно для улучшения понимания и оценки промышленных сооружений башенного типа. Практическое применение этих технологий в сочетании с их адаптивностью, возможностями работы в режиме реального времени и экономической эффективностью позиционируют их как важнейшие инструменты обеспечения безопасности, долговечности и устойчивости сооружения.

Автор представляет тщательный анализ методов при определении крена башенных конструкций с использованием иллюстраций и схем. Статья предлагает ценную информацию о преодолении проблем, связанных с креном башенных сооружений, предоставляя методический подход для расчета отклонений.

Рассмотренные методы предлагают инженерам и специалистам в области строительства точные методы оценки и уменьшения отклонений в конструкциях башен. Теоретическая значимость заключается в совершенствовании методов геодезического контроля, способствующих расширению области проектирования конструкций и строительства.

Ключевые слова: Геодезические методы, сооружения башенного типа, измерение крена.

Abstract. The article discusses industrial tower-type structures, their diverse applications and the use of advanced geodetic methods, in particular Lidar and InSAR technologies, for surveying and monitoring these structures. It provides a comprehensive overview of the principles and applications of lidar technology with a detailed description of its various forms, such as aerial, ground and mobile laser scanning. During the discussion, the versatility, accuracy and effectiveness of lidar are emphasized, its role in creating 3D models, monitoring structural changes and facilitating informed decisions in the field of maintenance and management is emphasized.

The purpose of the article is a comprehensive study and analysis of modern methods used to determine deviations, deformations and roll of tower structures.

The study of geodetic methods with an emphasis on Lidar and InSAR technologies is extremely important for improving the understanding and evaluation of industrial tower-type structures. The practical application of these technologies, combined with their adaptability, real-time operation capabilities and economic efficiency, position them as the most important tools for ensuring the safety, durability and stability of a structure.

The author presents a thorough analysis of methods for determining the roll of tower structures using illustrations and diagrams. The article offers valuable information on overcoming the problems associated with the roll of tower structures, providing a methodological approach for calculating deviations.

The considered methods offer engineers and specialists in the field of construction accurate methods for assessing and reducing deviations in tower structures. The theoretical significance lies in the improvement of methods of geodetic control, contributing to the expansion of the field of design and construction.

Keywords: Geodesy, construction, tower-type structures, roll measurement

Kipicne. Мақалада геодезиялық әдістердің, атап айтқанда InSAR және Lidar технологияларының негізгі рөлі қарастырылады. Сондай-ақ мақалада қарастырылып отырған геодезиялық бақылау әдістеріне мұнара түріндегі құрылымдардағы көлбеу және орам сияқты ауытқуларды анықтауға ерекше назар аудара отырып, талдау жұмыстары жүргізіледі. Бұл құрылымдарды салуға және күтіп ұстауға байланысты қиындықтар, әсіресе олардың вертикалдылығы тұрғысынан, құрылымның дәлдігі мен тұтастығын қамтамасыз ету үшін озық геодезиялық әдістерді қажет етеді.

Өнеркәсіп мұнара типті құрылымдардың белгілі бір мақсаттар үшін әртүрлі салаларда қолданылатын биік, жиі тік құрылымдарға жатады. Мұнара құрылымдары энергетика және көлік объектілеріне байланысты, өнеркәсіптік, химиялық, ауылшаруашылық, тау-кен және басқа кәсіпорындарда мемориалдық және көрме нысандары ретінде

қолданылады (Pimshina, 2023). Мұнара типті өнеркәсіптік құрылымдардың кейбір кең таралған түрлері: (<http://lib4all.ru/base/B2005/B2005Part 97-297.php>, 2024)

1. Байланыс мұнаралары.
2. Электр желілерінің тіректері.
3. Салқындату мұнаралары.
4. Су мұнаралары.
5. Бақылау мұнаралары.
6. Мұржалар.

Мұнара түріндегі нысандар, соның ішінде түтін құбырлары, бағандар, мұнаралар, Радиотелевизиялық антенна тіректері ең жауапты инженерлік құрылымдардың бірі болып табылады (Корецкий, 2022).

Өнеркәсіптік мұржалар әдетте 3-5 жыл сайын жоспарлы және жоспардан тыс тексерулерден өтеді. Алайда, мұндай жиілік әртүрлі зақымданулар мен зиянды факторларды уақтылы анықтау үшін әрдайым жеткіліксіз болуы мүмкін. Бұл мәселені шешу нақты уақыт режимінде құрылымның техникалық жағдайы туралы ақпарат алуға мүмкіндік беретін мониторинг жүйесі мен мамандандырылған датчиктерді енгізуді қамтиды. Мұндай бақылау шешімінің жарқын мысалы ретінде бірқатар сенсорлармен және қосымша жабдықтармен өзара әрекеттесетін Sodis Building бағдарламалық платформасы қолданылады. Ақпаратты жинау әдістерінде нақты датчиктер таңдалып, бақылау схемасына және бақыланатын параметрлерге байланысты қолданылады (1-сурет).

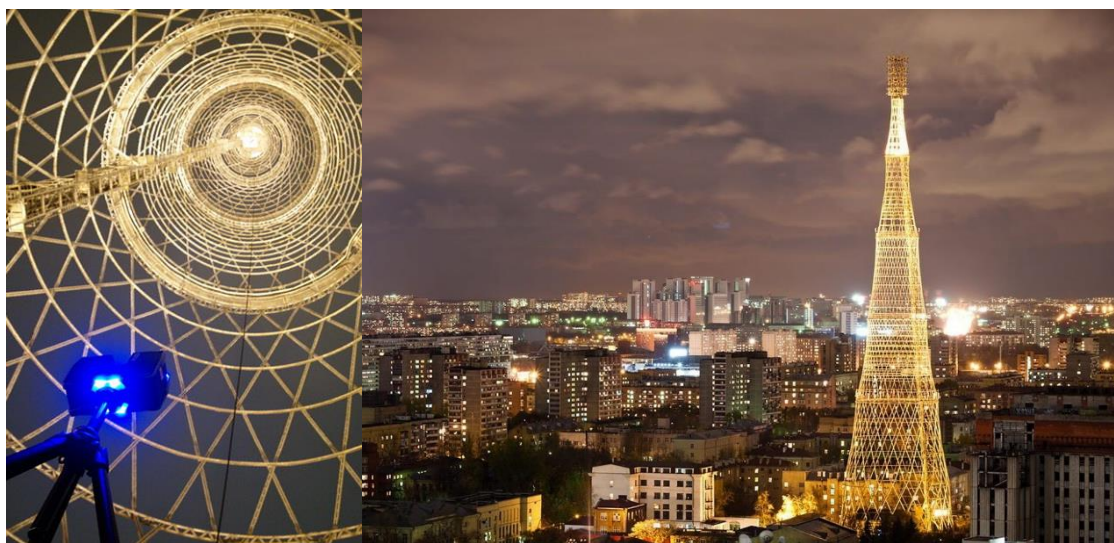


1-сурет. Сканер станцияларының орналасу схемасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Жер бетін өлшеу мен талдауды қамтитын геодезиялық әдістер мұнаралардағы құрылымдық ауытқуларды бақылау және бағалау үшін бұрыннан қолданылған. Технологияның соңғы жетістіктері мұнара құрылымдарының құрылымдық тұтастығын бағалау және басқару әдістерінде төңкеріс жасай отырып, нақты уақыт режимінде жоғары дәлдікті, тиімділікті және бақылау мүмкіндіктерін қамтамасыз ететін жаңа геодезиялық әдістерге әкелді. Мысалы, лазерлік сканерлеу (2-сурет).

Lidar технологиясы. Лазерлік сканерлеу – бұл лазерлік сканерді өлшеудің негізгі құралы ретінде жоғары жылдамдықты сипаттамалары мен қолданыстағы геодезиялық түсірілім түрі (<https://www.prom-terra.ru/uslugi/geodezicheskie-raboty/lazernoe-skanirovanie.>, 2024). Lidars деп аталатын лазерлік сканерлер бұл технологияда объектінің бетіндегі нүктелердің координаттарын жылдам өлшеу үшін қолданылады (секундына бірнеше ондаған мың нүктеге жетеді). Нәтиже – «нүктелер бұлтты» деп аталатын нүктелер жиынтығы. Лазерлік сканерлеу процесінде әр нүктенің X, Y, Z координаттары және шағылысқан сигналдың қарқындылық индексі анықталады. Алынған «нүктелік бұлт» сканерлеуден кейін үш өлшемді сандық фотосуретке ұқсайтын шағылысқан сигналдың қарқындылығына байланысты боялады. Лазерлік сканерлердің (Lidar-лардың) қазіргі заманғы модельдерінің көпшілігінде нақты уақыт режимінде нүктелер бұлттын нақты реңктерге бояуға мүмкіндік беретін кіріктірілген бейне немесе камера бар. Нысанның күрделілігіне, оның көлеміне және техникалық сипаттамаларына байланысты сізге лазерлік түсірудің келесі түрлері ұсынылуы мүмкін (<https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy>, 2024).



2-сурет. Шухов мұнарасын лазерлік сканерлеу

Ескерту – автормен құрастырылған

Әуе лазерлік сканерлеу – кез келген әуе аппаратынан (ұшақ, тікұшақ, автогиро, ұшқышсыз ұшу аппараты) жердегі объектілерді қоса алғанда және «Нүкте бұлтты» координаттарын алу арқылы жер бетіндегі лазерлік Эмитенттің жоғары жиілікті сәулелену технологиясы (<https://innoter.com/services/dannye-dzz/lazernoe-skanirovanie>, 2024). 1:500-1:5000 масштабтағы топографиялық жоспарларды, рельефтің цифрлық модельдерін, рельефтің цифрлық модельдерін және аумақтық, сызықтық объектілерді құру үшін ауаны лазерлік сканерлеу қолданылады.

Әдетте, ауаны лазерлік сканерлеу аэрофототүсіріліммен бір мезгілде түсіріледі, көрінетін және жақын инфрақызыл спектрлерде ажыратымдылығы 5-тен 15 см-ге дейінгі кескіндер алынады. Бұл технология инфрақұрылымдық жобалар үшін инженерлік зерттеулерде, қалалық басқаруда, карьерлер мен полигондар сияқты салалардағы топырақтың орын ауыстыру көлемін бағалауда және әртүрлі нысандарды бақылауда негізгі қолдануды табады.

Террастриялық лазерлік сканерлеу деп те аталатын жердегі лазерлік сканерлеу-лазер сәулелерін пайдалана отырып, жер беті, ғимараттар және т.б. туралы дәл үш өлшемді деректерді жинау технологиясы (<https://cognitivepilot.com/uncategorized/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie>, 2023).

Бұл әдіс 1:50-ден 1:500-ге дейінгі масштабта егжей-тегжейлі 3D модельдерін, қасбет жоспарларын және ауқымды рельефтік жоспарларды жасау үшін қолданылады. Жердегі лазерлік сканер 0,5 см-ге дейінгі нысандарды 0,5 мм-ге дейінгі дәлдікпен түсіру арқылы керемет дәлдікті қамтамасыз етеді. бұл әдісті тәуліктің кез келген уақытында қолдануға болады және 1:50 масштабтағы қасбеттерді түсіру үшін 4000 м² дейін және 1:500 масштабтағы топографиялық жоспарлар үшін 20 Га дейін өнімділікті қамтамасыз етеді. Жердегі лазерлік сканерлеу әмбебап, әртүрлі жағдайларға, соның ішінде туннельдер мен үңгірлер сияқты жабық кеңістіктерге жарамды, бұл оны күрделі құрылымдар мен үй-жайларды зерттеуге өте ыңғайлы етеді.

Ақпаратты жинаудың басқа әдістеріне қарағанда жердегі лазерлік сканерлеудің артықшылығы – бұл қосымша құрылғылар мен құрылғыларды (маркалар, рефлекторлар және т.б.) қажет етпейтін объектіні қашықтықтан зерттеу (Жильцова, 2020).

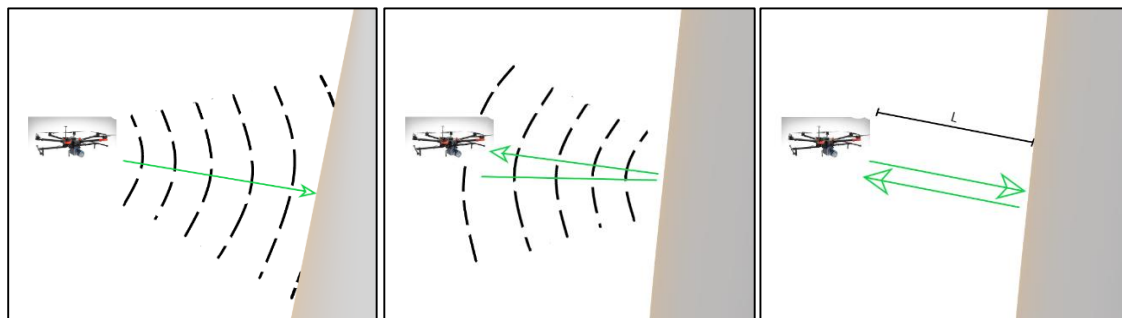
Мобильді лазерлік сканерлеу жер үсті немесе су тасығыштан үздіксіз режимде жүргізіледі, бұл ұзақ инфрақұрылым нысандарын, қалалық аумақтарды және күрделі құрылыстарды тиімді картаға түсіруге және 3D-модельдеуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс әсіресе автомобиль және теміржол, электр желілері мен көшелер сияқты желілік инфрақұрылымды үздіксіз картаға түсіру және модельдеу үшін өте қолайлы. Мобильді лазерлік сканерлеу сызбаның егжей-тегжейі 1-ден 5 см-ге дейін болған кезде 5-тен 8 см-ге дейінгі дәлдікті қамтамасыз етеді. Бұл әдістің өнімділігі тәулігіне 500 сызықтық километрге дейін жетуі мүмкін, түсіру жолағының ені 50-ден 250 м-ге дейін. мобильді лазерлік сканерлеу әуе сканерлеуіне ұқсас жоғары жылдамдық пен деректер көлемін қамтамасыз еткенімен, ол жердегі сканерлеудің дәлдігі мен егжей-тегжейін біріктіреді. Бұл технология картографиялық материалдарды жасау, сертификаттау, бақылау және инфрақұрылым нысандарының жағдайын құжаттау үшін кеңінен қолданылады.

Мобильді лазерлік сканерлеу технологиясы әуе сканерлеуінен деректерді алу жылдамдығы мен көлемін, ал дәлдік пен бөлшектерді жердегі сканерлеуден біріктірді. Қозғалыста түсіруді орындау технологиясы картографиялық материалдарды жасау, паспорттау, ұзақ инфрақұрылымдық объектілердің жай-күйін бақылау және бекіту үшін қолданылады.

Қазіргі заманғы lidar құрылғыларының көпшілігі әлдеқайда кішірек және арзанырақ болуы мүмкін, өйткені оларда бір компьютерлік чипте сәуле шығару және жарықты анықтау үшін қажетті барлық компоненттер бар – дегенмен, бұл құрылғылардың қайсысы қатты күйге жатады, бұл салада қызу пікірталас тақырыбы болып қала береді (Leslie, 2022).

Lidar, ол жарық анықтау және рейтинг дегенді білдіреді. Жарықты анықтау және диапазонды анықтау технологиясы (Lidar) жер бедері туралы жоғары дәлдіктің арқасында өте маңызды ақпарат көзіне айналады (Badia, 2022). Мұнара құрылымдарын түсіру кезінде Lidar нақты құрылым деректерін алу үшін белгілі бір принципті ұстанады. Мұнара құрылымдарын түсіру үшін lidar технологиясын қолдануға қатысты негізгі принциптердің түсіндірмесі:

1. Лазерлік сәулелену және шағылысу. Lidar жүйелері мақсатты аймақ бағытында жарық импульстарын шығаратын лазерлермен жабдықталған, бұл жағдайда мұнара дизайны (3-сурет). Бұл лазерлік импульстар мұнараға бағытталған жарық сәулесін жасау үшін бақыланатын түрде бағытталады.



3-сурет. Lidar-дің мұнара беттерімен өзара әрекеттесуі

Ескерту – автормен құрастырылған

2. Мұнара беттерімен өзара әрекеттесу. Лазер сәулесі мұнара құрылымына жеткенде, ол құрылым беттерімен әрекеттеседі. Лазерлік импульстар мұнара беттерімен, соның ішінде құрылымдық элементтермен, антенналармен және кез келген басқа элементтермен соқтығысқан кезде Lidar сенсорына қайта шағылысады.

3. Ұшу уақытын өлшеу. Lidar әрбір лазерлік импульстің сенсордан мұнара бетіне және кері өтуіне кететін уақытты өлшейді. Жарық жылдамдығын қолдана отырып, Lidar сенсор мен мұнара бетіндегі әрбір нүкте арасындағы қашықтықты (L) есептейді.

4. Нүктелік бұлт деректерін құру. Lidar сенсоры көптеген лазерлік импульстарды шығаратындықтан, ол мұнара бетіндегі әртүрлі нүктелер үшін көптеген қашықтық өлшемдерін жинайды. Бұл қашықтық өлшемдері үш өлшемді координаттардың тығыз жиынтығын құру үшін біріктіріліп, «нүктелер бұлты» деп аталады.

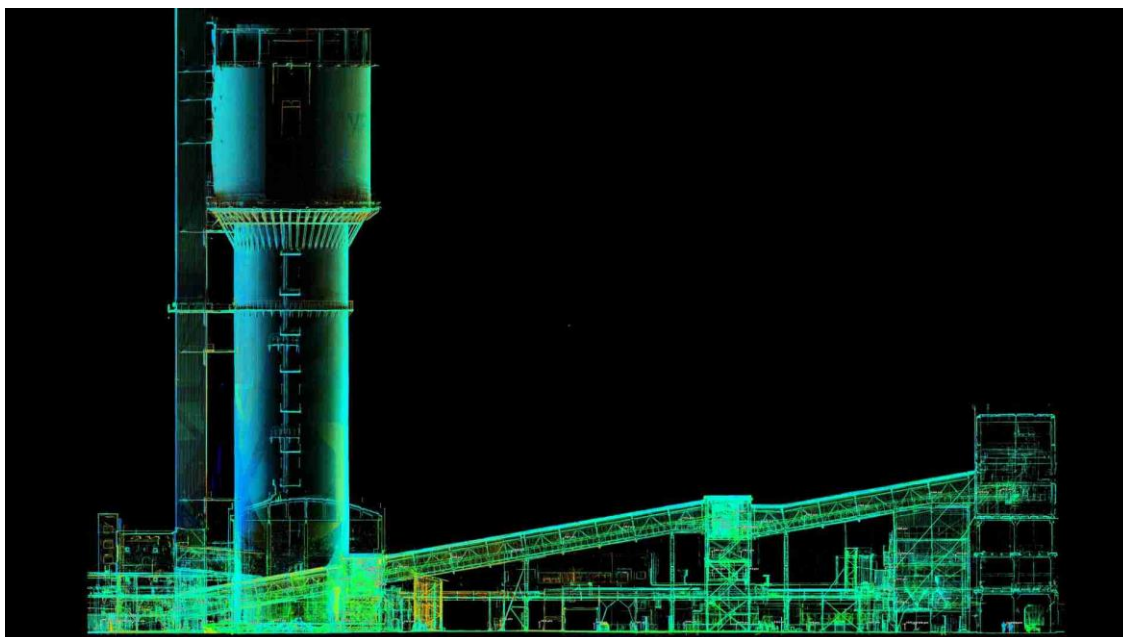
5. Нүктелік бұлтты талдау. Нүктелік бұлт мұнара құрылымындағы нүктелердің кеңістіктік таралуын білдіреді, оның пішіні мен ерекшеліктерін ұсақ бөлшектермен бекітеді. Нүктелік бұлт деректерін талдай отырып, мұнарадағы құрылымдық элементтердің, ауытқулардың, деформациялардың немесе қозғалыстардың нақты орналасуын анықтауға болады.

6. 3D модельдерін құру. Жинақталған «нүктелік бұлт» деректерін мұнара құрылымының жоғары дәлдіктегі үш өлшемді модельдерін жасау үшін пайдалануға болады (4-сурет). 3D модельдері мұнараның жан-жақты көрінісін қамтамасыз етеді, бұл егжей-тегжейлі талдау мен визуализацияға мүмкіндік береді. LiDAR деректері көбінесе мұнараның ортасы мен контекстің түсінуді жақсарту үшін жоғары ажыратымдылықтағы суреттер немесе спутниктік деректер сияқты басқа деректер көздерімен біріктіріледі. Қолданылатын жүйеге байланысты кейбір Lidar қондырғылары нақты уақыт режимінде бақылауды қамтамасыз етеді, бұл инженерлерге құрылымдық өзгерістер мен ауытқуларды байқауға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, мұнара конструкцияларын түсіруге арналған Lidar технологиясы дәл лазерлік өлшемдерге және нүктелік бұлттың егжей-тегжейлі деректерін жасауға негізделген. Бұл әдіс мұнара құрылымының бөліктеріндегі кез-келген ауытқуларды, деформацияларды немесе мешіңсуларды дәл анықтауға мүмкіндік береді. Lidar әсіресе дәстүрлі биіктіктегі құрылымдарды бақылау үшін пайдалы түсіру әдістері күрделілігі бар немесе практикалық емес. Lidar технологиясы мұнара құрылымдарына техникалық қызмет көрсету және басқару бойынша негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Lidar технологиясы мұнара конструкцияларындағы ауытқуларды анықтаудың геодезиялық әдістерінде ойынды өзгертті. Оның дәл картаға түсірілуі, нақты уақыттағы бақылау мүмкіндіктері, қиын жағдайларға бейімделуі және экономикалық тиімділігі оны

мұнара құрылымдарының қауіпсіздігі мен беріктігін қамтамасыз ететін баға жетпес құралға айналдырады. Технология одан әрі дамыған сайын, lidar-дың құрылымдық мониторингтегі рөлі маңызды инфрақұрылымның жалпы тұрақтылығына ықпал ете отырып, одан да маңызды болуы мүмкін.



4-сурет. Су мұнарасын лазерлік сканерлеу және 3D моделі

Ескерту – автормен құрастырылған

InSAR (синтезделген апертурасы бар Интерферометриялық радар). Синтезделген апертурасы бар интерферометриялық радар (ағылш. Interferometric synthetic aperture radar, InSAR) – жерді геодезиялауда және қашықтықтан зондтауда қолданылатын радиолокациялық әдіс. Уақыт өте келе радиолокациялық толқындардың интерференциялық суреттерін талдай отырып, InSAR мұнара құрылымдарындағы шамалы деформацияларды да анықтай алады (<https://www.wikiwand.com/ru/Insar>, 2024). Бұл әдіс қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді құрылымдық өзгерістерді бақылау үшін тиімді, бұл оны ұзақ уақыт бойы мұнаралардың тұрақтылығын бағалау үшін құнды етеді.

Мұнара құрылымдарын бақылау контекстіндегі InSAR технологиясы:

1. Радиолокациялық сигналдың сәулеленуі. InSAR жер бетінің суретін алу үшін радиолокациялық сигналдарды пайдаланады (<https://masters.donntu.ru/2011/igg/zhegylina/-library/translate.htm>, 2024). Бұл радиолокациялық сигналдар микротолқынды диапазонда және бұлттар мен қараңғылыққа ене алады, бұл InSAR -ауа-райына және тәулік бойы бақылауға жарамды етеді.

2. Мұнара беттерімен өзара әрекеттесу. InSAR жүйесі шығаратын радиолокациялық сигналдар жер бетіне бағытталады және мұнара құрылымымен өзара әрекеттеседі. Радиолокациялық сигналдар мұнара беттерімен соқтығысқанда, олар ішінара спутникке қайта шағылысады.

3. Сигнал фазасын өлшеу. InSAR технологиясы берілген және қабылданған радиолокациялық сигналдар арасындағы фазалық айырмашылықты өлшеуді қамтитын интерферометрия принципіне негізделген. Радиолокациялық сигнал фазасы жүріп өткен

қашықтыққа сезімтал және базалық сызық деп аталатын осы қашықтықтағы кез келген өзгерістер фазаның өзгеруіне әкеледі.

4. Интерферограмма генерациясы. Өртүрлі уақытта алынған радиолокациялық сигналдардың фазаларын салыстыра отырып, InSAR интерферограмма жасайды. Интерферограмма – мұнара құрылымы мен оның бөліктеріндегі фазалық айырмашылықтың визуалды көрінісі.

5. Деформация сипатын анықтау. Интерферограммадағы өзгерістер құрылымның деформациясын көрсетеді, мұнара құрылымдары жағдайында деформациялар құрылымныңмешысуын, қисаюын немесе шөгуін көрсетуі мүмкін.

6. Деформациялар туралы ақпарат алу. InSAR технологиясы мұнара құрылымындағы деформациялардың сипаты мен дәрежесін түсіну үшін қолдануға болатын деформациялар туралы сандық ақпаратты алуға мүмкіндік береді.

InSAR радиолокациялық деректер әр түрлі уақытта жиналған кезде қайта өту режимінде қолданылған кезде тиімді болады. Уақыт қатарын талдау уақыт бойынша өзгерістерді бақылауға, тенденцияларды анықтауға және мұнара құрылымындағы деформациялардың уақытша эволюциясын түсінуге мүмкіндік береді.

Жоғары уақыт пен кеңістіктік ажыратымдылықтың арқасында InSAR бақылаулары Құрылыс және пайдалану кезеңінде тұрақты жергілікті бақылауды толықтыра алады. [13]

Дәстүрлі / әдеттегі түсіру әдістерімен салыстырғанда, InSAR қауіпті немесе жету қиын аймақтарды қоса алғанда, үлкен аумақтарда өлшеу нүктелерінің жоғары тығыздығын қамтамасыз етудің артықшылығын ұсынады. [14] осылайша, InSAR технологиясы радиолокациялық сигналдарды талдау және топырақтың деформациясын жоғары дәлдікпен анықтау арқылы мұнара құрылымдарын бақылаудың күрделі және қашықтағы құралдарын ұсынады. Бұл мүмкіндік InSAR – ұзақ уақыт бойы мұнара құрылымдарының тұрақтылығы мен күйін бағалаудың құнды құралына айналдырады.

Күрделі өнеркәсіптік жағдайларда құрылымдардың тұтастығын бағалау өлшеудің озық және дәл әдістерін қажет етеді. Бұл салыстырмалы талдауда біз екі жаңа тәсілді қарастырамыз – Lidar және InSAR (1-кесте). Олардың әрқайсысы мұнара құрылымдарын бағалаудың ерекше перспективаларын ұсынады. Бұл әдістер әртүрлі технологияларды, дәлдікті және операциялық ойларды алдыңғы қатарға шығарады, бұл олардың тиісті күштері мен шектеулерін егжей-тегжейлі зерттеуді қажет етеді.

1-кесте. Lidar және InSAR салыстырмалы талдауы

| Критерий | Lidar | InSAR |
|-----------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Теңшеу немесе орнату уақыты | Дәстүрлі түсіру әдістерімен салыстырғанда жылдам орнату. Lidar құрылғысы актам және мобильді, бұл оларды орнатуды жеңілдетеді. Оны әртүрлі платформаларға орнатуға болады (жер, ауа немесе су). Жеңіл жабдық жылдам орнатуды қамтамасыз етеді. Мұнаралардың әртүрлі конструкцияларына Елеулі түзетулерсіз бейімделу мүмкіндігі | Күрделі интерферометриялық жүйелерге байланысты lidar-мен салыстырғанда орнату уақыты ұзағырақ. |

1-кестенің соңы

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|--|
| Сыртқы факторларға тәуелділік | Тығыз өсімдіктер немесе кедергілер арқылы шектеулі ену, бұл кейбір жағдайларда деректерді жинауға әсер етеді. | Ол тек ашық ауада қолданылады, ғимарат ішінде қолдануға жарамайды. Тығыз қоныстанған қалалық жерлерде орналастыру кезінде қиындықтар туындауы мүмкін. |
| Дәлдік | Миллиметрге дейінгі дәлдікті қамтамасыз ететін егжей-тегжейлі 3D ақпаратын алудың жоғары дәлдігі. Кеңістіктік бөлшектері жоғары ауқымды және шағын масштабты деформацияларды тиімді бекітеді. | Деформациялар мен шөгінділерді өлшеудің жоғары дәлдігі миллиметрге дейін. Кішкене мешысуларға сезімтал, бұл оны әрең байқалатын құрылымдық өзгерістерді анықтауға жарамды етеді. Үлкен аумақта ауқымды деформацияларды бақылау үшін тамаша. Тік және көлденең мешысуларды дәл анықтай алады. Операторлар дәлдікті қамтамасыз ету үшін интерферометрия принциптерін түсінуі керек. |
| Құрылыс туралы деректерді жинау | Нүктелік бұлттардың тығыздығы жоғары деректерді жылдам жинау нақты уақыт режимінде жиі бақылауға мүмкіндік береді. | Уақыт өте келе құрылымдық өзгерістерді бақылауға мүмкіндік беретін үздіксіз деректер ағынын қамтамасыз етеді. |
| Шектеулер | Әртүрлі жағдайларда оңтайлы дәлдікке жету үшін мұқият жоспарлау мен калибрлеуді қажет етеді. | Үй ішінде шектеулі қолдану; негізінен сыртқы бақылау үшін қолайлы. |
| Қаржылық шығындар және экономикалық тиімділік | Біқшам және арзан Lidar құрылғыларының жаңа тенденциялары олардың қол жетімділігін арттырады. Мұнара құрылымдарын дәл бақылау және бағалау арқылы ұзақ мерзімді құндылықты қамтамасыз етеді. | Мамандандырылған радиолокациялық жабдықтар мен инфрақұрылымға байланысты жоғары бастапқы шығындар. Ағымдағы техникалық қызмет көрсету шығындары жалпы шығындарға үлес қоса алады. Ауқымды мониторинг үшін дәстүрлі зерттеу әдістерімен салыстырғанда шығындарды үнемдеуді қамтамасыз етеді. Ол жоғары бастапқы шығындарға ие болуы мүмкін, бірақ тұрақты бақылау арқылы ұзақ мерзімді құндылықты қамтамасыз етеді. |
| <i>Ескерту – автормен құрастырылған</i> | | |

Lidar және InSAR технологиялары айқын артықшылықтары құнды геодезиялық әдістер болып табылады. Lidar технологиясы мұнара құрылымдарындағы кішігірім ауытқуларды, деформацияларды және шиыршықтарды бағалауды егжей-тегжейлі зерттейді. Керісінше, InSAR ауқымды деформациялардың кеңірек уақытша перспективасын қамтамасыз етеді, бірақ ұсақ бөлшектерді алуда шектеулер болуы мүмкін. Lidar мен InSAR арасындағы таңдау дәлдік талаптары, бақылау ауқымы және

қоршаған орта жағдайлары сияқты факторларды ескере отырып, мұнара құрылымдарын бағалаудың нақты талаптарына байланысты.

Сәулет, инженерия және археология кеңістікті және 3D қайта құруды әдеттегі контексте пайдаланатын ғылымдар екенін ескере отырып, кеңістіктік деректер компоненттерін тіркеу зерттеулерде қажет деп саналады. Бұл тұрғыда күрделі кеңістіктер мен объектілерді бейнелеу дәлдігі шындық модельдерін алу үшін өте маңызды (Моуано, 2022).

Қорытынды. Бұл мақалада геодезиялық әдістердің, атап айтқанда InSAR және lidar технологияларының мұнара түріндегі өнеркәсіптік құрылыстарды бағалау мен бақылаудағы негізгі рөлі қарастырылады. Бұл құрылымдардың құрылысы мен техникалық қызмет көрсетуіндегі қиындықтар олардың тік сипатымен бірге құрылымның дәлдігі мен тұтастығын қамтамасыз ету үшін озық геодезиялық әдістерді қолдануды талап етеді.

Әуе, жер үсті және мобильді лазерлік сканерлеуді қоса алғанда, әртүрлі геодезиялық әдістерді зерттеу нақты уақыт режимінде дәлдікті, тиімділікті және бақылау мүмкіндіктерін арттыратын технологиялардың эволюциясын көрсетеді. Lidar технологиясы дәл лазерлік өлшемдерді ұсына отырып және нүктелік бұлт туралы егжей-тегжейлі мәліметтер жасай отырып, негізгі ойыншыға айналады. Бұл деректер суреттер мен спутниктік деректер сияқты басқа көздерді біріктірумен бірге инженерлерге нақты уақыт режимінде, әсіресе дәстүрлі түсіру әдістері қиындықтарға тап болатын сценарийлерде негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Lidar дамып, биік құрылыстарды бақылауда өзінің тиімділігін дәлелдеуді жалғастыра отырып, оның болашақ биік құрылыстарға техникалық қызмет көрсету және басқару стратегияларын қалыптастырудағы рөлі барған сайын айқын бола бастады. Мақала геодезиялық технологиялардың трансформациялық әсеріне жарық түсіреді, олардың маңызды инженерлік құрылымдардың беріктігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі таптырмас рөлін көрсетеді.

Мақалада өнеркәсіптік құрылыстардағы мұнара түріндегі бақылаулар геодезиялық зерттеуде үлкен үлес қосады, және де олардың алдында тұрған мәселелер мен қолжетімді инновациялық шешімдерді шешуге мүмкіндік тудырады. Қазіргі уақытта өнеркәсіптер дамып келе жатқандықтан, бұл мұнара типті құрылымдарды салу, техникалық қызмет көрсету және бақылау кезінде неғұрлым негізделген шешімдер қабылдауға жол ашады, сондай-ақ, олардың әртүрлі салаларда тұрақтылығы мен функционалдығын қамтамасыз етеді.

Әдебиеттер тізімі

- Tatiana Pimshina, Ivan Pimshin, Natalia Pichkurova, Aleksey Reviakin. (2023). Determination of Accumulated Deformation of a High altitude Chimney for its Operational Reliability Restoration. *Transportation Research Procedia*, 2023, 68, 174-182, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214652300025X>.
- Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа / lib4all.ru. 11.01.2024. <http://lib4all.ru/base/B2005/B2005Part97-297.php>. Geodezicheskie raboty pri stroitel'stve sooruzhenij bashennogo tipa. <http://lib4all.ru/base/B2005/B2005Part97-297.php>.
- Д.С. Корецкий, Г.А. Корецкая. (2022). Геодезический мониторинг при эксплуатации промышленных дымовых труб // *Вестник КУЗГТУ*. № 5, 62-71. D.S. Koreckij, G.A. Koreckaja. (2022). Geodezicheskij monitoring pri jekspluatacii promyshlennyh dymovyh trub // *Vestnik KUZGTU*. № 5, 62-71.
- Лазерное сканирование / prom-terra.ru. 05.01.2024. URL: <https://www.prom-terra.ru/uslugi/geodezicheskie-raboty/lazernoe-skanirovanie>. Lazernoe skanirovanie / prom-terra.ru. 05.01.2024. URL: <https://www.prom-terra.ru/uslugi/geodezicheskie-raboty/lazernoe-skanirovanie>.
- Лазерное сканирование зданий и сооружений: все, что нужно знать заказчику / gektagroup.ru. 05.01.2024. URL: <https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i>

- sooruzheniy. Lazernoe skanirovanie zdaniy i sooruzhenij: vse, chto nuzhno znat' zakazchiku / gektagroup.ru. 05.01.2024. URL: <https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy>
- Лазерное сканирование (LIDAR) / innoter.com. 05.01.2024. URL: <https://innoter.com/services/dannye-dzz/lazernoe-skanirovanie>. Lazernoe skanirovanie (LIDAR) / innoter.com. 05.01.2024. URL: <https://innoter.com/services/dannye-dzz/lazernoe-skanirovanie>.
- Наземное лазерное сканирование в сельском хозяйстве / cognitivepilot.com. 20.11.2023. URL: <https://cognitivepilot.com/uncategorized/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie>. Nazemnoe lazernoe skanirovanie v sel'skom hozjajstve / cognitivepilot.com. 20.11.2023. URL: <https://cognitivepilot.com/uncategorized/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie>.
- А.В. Жильцова. Использование наземного лазерного сканирования при Мониторинге строительных объектов и конструкций. Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2020. – № 10. 182-188. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-pri-monitoringe-stroitelnyh-obektov-i-konstruktsiy>. A.V. Zhil'cova. Ispol'zovanie nazemnogo lazernogo skanirovaniya pri Monitoringe stroitel'nyh ob#ektov i konstrukcij. Nauchno-obrazovatel'nyj zhurnal dlja studentov i prepodavatelej «StudNet». 2020. – № 10. 182-188. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-pri-monitoringe-stroitelnyh-obektov-i-konstruktsiy>
- M. Leslie. (2022). On-Chip LiDAR Technology Advances for Cars, Cell Phones. Engineering. V 18. 3–5.
- A. Badia, M. Gisbert. (2020). LiDAR technology to map forest continuity: A municipality tool to prevent forest fires in a Wildland–Urban interface. Applied Geography. 102134
- Insar / Wikiwand.com. 19.01.2024. URL: <https://www.wikiwand.com/ru/Insar>
- Контроль деформации земной поверхности с околоземной орбиты с помощью спутников / masters.donntu.ru. 15.01.2024. URL: <https://masters.donntu.ru/2011/igg/zhegylina/library/translate.-htm>. Kontrol' deformacii zemnoj poverhnosti s okolozemnoj orbity s pomoshh'ju sputnikov // masters.donntu.ru. 15.01.2024. URL: <https://masters.donntu.ru/2011/igg/zhegylina/library/translate.htm>.
- J. Aswathi, R.B. Binoj Kumar, T. Oommen, E.H. Bouali, K.S. Sajinku. (2022). InSAR as a tool for monitoring hydropower projects: A review. Energy Geoscience. 160-171.
- K. J. Reinders, G. Giardina, F. Zurfluh, J. Ryser, R.F. Hanssen. (2022). Proving compliance of satellite InSAR technology with geotechnical design codes. Transportation Geotechnics. 100722.
- Juan Moyano, Ángel Justo-Estebarez, Juan E. Nieto-Julián, Alfonso Ojeda Barrera, María Fernández-Alconchel. (2022). Evaluation of records using terrestrial laser scanner in architectural heritage for information modeling in HBIM construction: The case study of the La Anunciación church (Seville). Journal of Building Engineering. 62.

Information about authors

Kussaiynova Gulzat Satbekovna – master of technical sciences, Geoinfo LLP, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: gulzat.kusaiynova@mail.ru, +7 708 106 08 70

Khmyrova Yelena Nikolayevna – candidate of technical sciences, Non-Profit Joint-Stock Company Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: hmyrovae@mail.ru

Satbergenova Assel Kuandykovna – master of technical sciences, Non-Profit Joint-Stock Company Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: A.satbergenova2@gmail.com

Igemberlina Marzhan Bazarbayevna – PhD, Non-Profit Joint-Stock Company Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: igemberlina@mail.ru

Tuıaqbaı Ásem Serikqyzy – PhD, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, E-mail: assem_jan@mail.ru

НАНОМАТЕРИАЛДАР
НАНОМАТЕРИАЛЫ
NANOMATERIALS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_85
IRSTI 53.41.31

K.S. Tolubayev¹, B.A. Zhautikov¹, N.N. Zobnin¹, G.S. Dairbekova², S.K. Kabiyeva¹,

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

E-mail: kanat.tolubayev@tttu.edu.kz

E-mail: bakhyt_zhautikov@mail.ru*

E-mail: zobninnn@mail.ru

E-mail: kabieva.s@mail.ru

²Satpayev University, Almaty, Kazakhstan;

E-mail: guldana.01.02.91@mail.ru

IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF SILICON POLYMORPHISM IN MAGNETRON SPUTTERED THIN FILMS

ЖҰҚА МАГНЕТРОНДЫ БҮРІККІШ ПЛЕНКАЛАРДАҒЫ КРЕМНИЙ ПОЛИМОРФИЗМІН ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ САНДЫҚ АНЫҚТАУ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЛИМОРФИЗМА КРЕМНИЯ В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Abstract. The article raises the problem of disagreements between different approaches to studying silicon polymorphism in silicon nanofilms using Raman spectroscopy. Here, the polymorphism assessment was carried out using a Horiba brand device Jobin – Yvon HR 800 UV (France). An argon-cadmium laser with a wavelength of 315 nm was used as the excitation source. The measurements were carried out in the range from 0 to 3200 cm^{-1} . Two different types of film were studied. Parallel measurements of Raman spectra revealed the homogeneity of the polymorphic composition of films of both types, which indicates the advantage of magnetron sputtering technology over the CVD method in this part. The analysis revealed: a split peak with a maximum in the region of 120 cm^{-1} interpreted as a manifestation of amorphous silicon, a peak in the region of 210 cm^{-1} attributed to the crystalline form of silicon. Peaks were found in the region of 408 and 520 cm^{-1} , which can be assessed as signs of nanosilicon. Also, in the spectrogram there are peaks in the range of 600-660 cm^{-1} (presumably copper silicide, an intermediate layer between the substrate and the film), as well as peaks at 900-1000 cm^{-1} and 1500-1660 cm^{-1} , identified as manifestations of copper. It was found that in the case of silicon film with an amorphous and crystalline structure, a laser wavelength of 315 nm is sufficient for the beam to penetrate the substrate and intermediate layers and record their spectrum. In this case, the copper of the substrate is identified by a peak in the region of 1500-1660 cm^{-1} . The nanocrystalline structure is less permeable and the identification peak of copper in this case is in the region of 900-1000 cm^{-1} . To the greatest extent, the results obtained correlate with the results obtained by Levitsky V.S. It is recommended to use his approaches to the identification of silicon films, as they most adequately describe the relationship between the results of Raman spectrometry and the polymorphism of silicon films.

Keywords: SoG - Silicon, magnetron sputtering, Caroline D12C, nano silicon, amorphous silicon, crystalline silicon, film, Raman spectrum, polymorphism.

Аңдатпа. Мақалада Раман спектроскопиясы арқылы кремний нано пленкаларындағы кремний полиморфизмін зерттеудің әртүрлі тәсілдерінің келіспеушілігі мәселесі көтеріледі. Мұнда полиморфизмді бағалау Horiba Jobin–Yvon hr800uv (Франция) маркалы құрылғының көмегімен жүргізілді. 315 НМ толқын ұзындығы бар аргон-кадмий лазері қозу көзі ретінде пайдаланылды. Өлшеу 0-ден 3200 см⁻¹ аралығында жүргізілді. Қабықшаның екі түрі зерттелді. Раман спектрлерін параллель өлшеу барысында екі типтегі пленкалардың полиморфты құрамының біртектілігін анықтады, бұл магнетронды бүрку технологиясының осы бөліктегі CVD әдісінен артықшылығы туралы айтады. Талдау кезінде мыналар анықталды: аморфты кремнийдің көрінісі ретінде түсіндірілген максимумы 120 см⁻¹ болатын бөлінген шың, кремнийдің кристалды түріне жатқызылған 210 см⁻¹ шыңы. 408 және 520 см⁻¹ аймағында нано кремнийдің белгілері

ретінде бағалауға болатын шыңдар табылды. Сондай-ақ, спектрограммада $600-660\text{ см}^{-1}$ (мыс силицидi, субстрат пен пленка арасындағы аралық қабат), сондай-ақ мыстың көрінісі ретінде анықталған $900-1000\text{ см}^{-1}$ және $1500-1660\text{ см}^{-1}$ шыңдары бар. Аморфты және кристалды құрылымы бар кремний пленкасы жағдайында 315 нм лазердің толқын ұзындығы сәуленің субстратқа және аралық қабаттарға еніп, олардың спектрін тіркеуі үшін жеткілікті екендігі анықталды. Бұл жағдайда субстраттың мысын $1500-1660\text{ см}^{-1}$ шыңы анықтайды. Нано кристалды құрылымы аз өткізгіш және мыстың идентификациялық шыңы бұл жағдайда $900-1000\text{ см}^{-1}$ аймағында. Алынған нәтижелер Левицкий В.С. – мен ең көп корреляцияланады. Раман спектрометриясы мен кремний пленкаларының полиморфизмі нәтижелерінің байланысын барынша барабар сипаттайтын кремний пленкаларын анықтау тәсілдерін қолдану ұсынылады.

Түйін сөздер: SoG-Silicon, магнетронды бүрку, Caroline D12C, нано кремний, аморфты кремний, кристалды кремний, пленка, раман спектрі, полиморфизм.

Аннотация. В статье поднимается проблема разногласий различных подходов к изучению полиморфизма кремния в кремниевых нано плёнках методом рамановской спектроскопии. Здесь оценка полиморфизма проводилась с помощью прибора марки Horiba Jobin-Yvon HR800UV (Франция). В качестве источника возбуждения использовался аргон-кадмиевый лазер с длиной волны 315 нм . Измерения проводились в диапазоне от 0 до 3200 см^{-1} . Изучены два различных типа плёнки. Параллельные замеры спектров Рамана выявили однородность полиморфного состава плёнок обоих типов, что говорит о преимуществе технологии магнетронного напыления перед методом CVD в этой части. При анализе установлены: расщепленный пик с максимумом в районе 120 см^{-1} , интерпретированный как проявление аморфного кремния, пик в районе 210 см^{-1} , отнесенный к кристаллической форме кремния. В районе 408 и 520 см^{-1} найдены пики, которые можно оценивать как признаки нано кремния. Также на спектрограмме имеются пики в диапазоне $600-660\text{ см}^{-1}$ (предположительно силицид меди, промежуточный слой между подложкой и плёнкой), а также пики $900-1000\text{ см}^{-1}$ и $1500-1660\text{ см}^{-1}$, идентифицированные как проявления меди. Установлено, что в случае кремниевой плёнки с аморфной и кристаллической структурой длины волны лазера 315 нм достаточно, чтобы луч проникнул к подложке и промежуточным слоям и зарегистрировал их спектр. При этом медь подложки идентифицируется пиком в районе $1500-1660\text{ см}^{-1}$. Нано кристаллическая структура менее проницаема и идентификационный пик меди в этом случае в районе $900-1000\text{ см}^{-1}$. В наибольшей степени полученные результаты коррелируют с результатами, полученными Левицким В.С. Рекомендуется использовать его подходы к идентификации кремниевых плёнок, как наиболее адекватно описывающие связь результатов рамановской спектрометрии и полиморфизма кремниевых плёнок.

Ключевые слова: SoG-Silicon, магнетронное напыление, Caroline D12C, нано кремний, аморфный кремний, кристаллический кремний, плёнка, рамановский спектр, полиморфизм.

Introduction. Silicon, in its physicochemical properties, is the closest analogue of carbon, and has been of interest as a material for micro- and optoelectronics for more than 50 years (Daliev K.S., 2005; Abdurakhmanov K.P., 1998). The most promising direction of silicon technologies is the growth of thin films obtained by deposition of amorphous, crystalline and nanocrystalline silicon on substrates. Silicon-based thin films are fabricated using chemical vapor deposition (CVD), magnetron sputtering and vacuum evaporation (Catchpole K.R.; Yoshihiro H.; Bergmann R.B., 2002).

Diagnostics of silicon films is an important element in the technological chain of production of high-quality solar cells based on amorphous hydrogenated silicon (a-Si:H) and microcrystalline silicon ($\mu\text{c-Si}$). Raman spectroscopy is an effective local non-destructive method for structural analysis. Using this technique, it is possible to determine the size of crystallites, changes in the short- and medium-range orders of the structure, the presence of stresses in the structure, as well as the ratio of the shares of crystalline and amorphous components in thin films containing nanocrystalline inclusions (Levitsky V.S., 2001). However, the interpretation of Raman spectra of thin silicon films still does not have a unified approach. Different researchers use equipment with different wavelengths and laser powers, samples prepared in different ways, and different Raman shift limits in spectroscopy. Therefore, the results of studying these objects differ significantly.

In the work of Geisler S.V. et al. a study of thin silicon films obtained by gas-jet electron-beam plasma-chemical gas-phase deposition was conducted (GJEB P.E. CVD). Equipment Triplemate SPEX was used for Raman spectroscopy of films based on an argon laser with a wavelength of 488 nm and a power of 5 mW. According to the authors, this laser wavelength was chosen in order to reduce the beam penetration depth and prevent recording of the substrate spectrum. The power was chosen to avoid crystallization (the polymorphic transformation of amorphous and nanocrystalline silicon into crystalline silicon) under the action of a laser beam (Gaisler S. V., 2004). In this case, the spectra presented in Figure 1 were obtained.

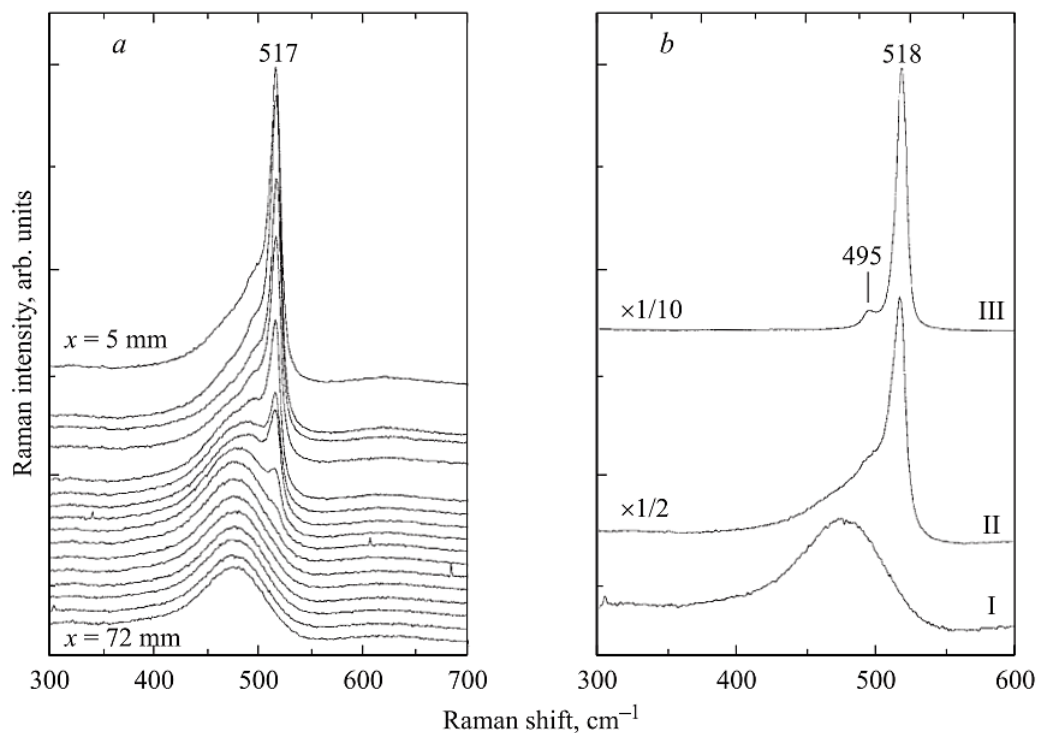


Figure 1. Raman spectra obtained at different points of the silicon film

Note – compiled by the author based on (Gaisler, 2004)

The authors identified the resulting spectrogram as follows. The peak with a maximum at 475 cm^{-1} indicates the presence of an amorphous state of silicon. The peak with a maximum in the region of $514\text{-}518\text{ cm}^{-1}$ indicates the presence of nanoparticles. The authors also note a peak at 495 cm^{-1} which they could not identify (Gaisler S. V., 2004). Given these assumptions, it should be noted that the method GJEB PE CVD results in a film that is uneven in terms of silicon polymorphism. One sample contains both areas consisting entirely of nanosilicon and areas containing only amorphous silicon. Such heterogeneity will lead to instability of the technological properties of the film and can also lead to an erroneous assessment of the film morphology. At the same time, there is no mention of the possibility of the presence of areas with crystalline silicon, although it is not at all excluded. The Raman shift range is only from $300\text{ to }700\text{ cm}^{-1}$, which may not provide enough data to evaluate film polymorphism. Finally, the authors did not present electron microscopy results in the paper to support the analysis of the Raman spectroscopy data. Although there is an indication here that nanocrystalline silicon has a spherical shape with a diameter of $3\text{-}10\text{ nm}$. Data from other sources regarding sizes of $3.5\text{-}20\text{ nm}$ are also provided (Kamei T., 1999).

Similar studies were carried out by Utemuradova Sh. B. et al. In their work, they used Raman spectroscopy to study crystalline n-type silicon grown using the Czochralski method, i.e. a material that obviously does not contain either amorphous or nanocrystalline silicon. Here the authors provide photographs of crystalline silicon obtained using a scanning electron microscope. The Raman spectrum and micrograph are shown in Figure 2 (Utemuradova S.B., 2002).

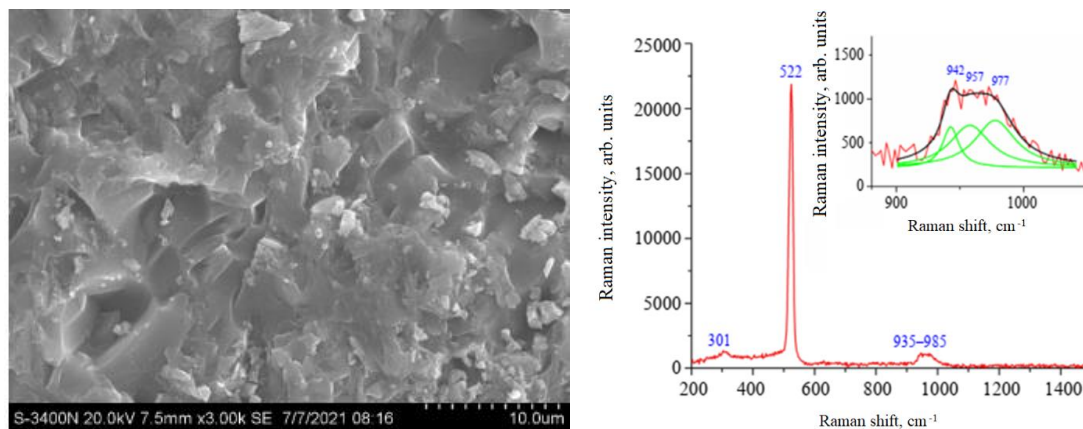


Figure 2. Raman spectrum and micrograph of a sample of single-crystalline silicon grown using the Czochralski method

Note – compiled by the author based on (Utemuradova, 2002)

Raman spectroscopy was carried out on a CARS Raman instrument Spectrometer. No further details are provided. The microphotograph data in Figure 2 contradicts the data of Geisler S.V., because in the presence of a dominant peak at 522 cm^{-1} , the micrograph does not show spherical silicon particles with a size of 3-10 nm, which are mentioned in the article by Geisler S.V. Meanwhile, in her work, Utemuradova Sh. B. indicates the presence of nanoparticles in the sample, although it is obvious from the micrograph that there are no nano-sized particles in the structure of the sample. Moreover, the magnification $\times 3000$ (3.00 k) indicated in the photo cannot reveal nano-sized objects.

It is also indicated that the Raman spectrum has peaks at 301 and $935\text{--}985\text{ cm}^{-1}$. The presence of these peaks is explained as follows. As a result of the long-range translational symmetry of crystalline Si, additional peaks in the range of $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ may appear in the Raman spectra, which are much less intense than the first-order peak (Temple P. A., 1973). The vibration at 301 cm^{-1} in many works is attributed to the LA (longitudinal acoustic) mode (Wellner A., 2004; Zhigunov D. M., 2018; Raczkyowski B., 2017). It is assumed that this peak is due to the overtones TA (2TA(X)) at the critical point X as a result of the occurrence of a superposition of transverse and longitudinal acoustic modes. The intensity of the peak at 522 cm^{-1} is 17 times greater than the second-order peak at 301 cm^{-1} (Utemuradova S. B., 2002). The peak at $935\text{--}985\text{ cm}^{-1}$ (Utemuradova S. B., 2002) was identified by analogy with the works (Temple P. A., 1973; Raczkyowski B., 2017; Sachat E., 2017) as a manifestation of nanocrystalline silicon, caused by the scattering of several transverse optical phonons (2TO) and their overtone state. Thus, from the work of Utemuradova Sh. B. we can conclude that in the studied samples there is only nanocrystalline silicon and no crystalline or amorphous silicon.

A different interpretation of Raman spectra is given in his work by V.S. Levitsky. He gives his vision of the Raman spectra of amorphous (a-Si), crystalline (cryst. Si) and microcrystalline silicon (nc-Si) Figure 3.

Under microcrystalline silicon Levitsky V.S. understands a certain superposition of amorphous silicon and nano-sized inclusions of crystalline silicon. Moreover, he claims that the spectrum of microcrystalline silicon consists of a peak with a maximum near 480 cm^{-1} associated with the amorphous phase, and a much narrower peak near 520 cm^{-1} associated with the nanocrystalline phase (Levitsky V. S., 2001). At the same time, the author also does not provide photographs obtained as a result of electron microscopy, which would confirm these data.

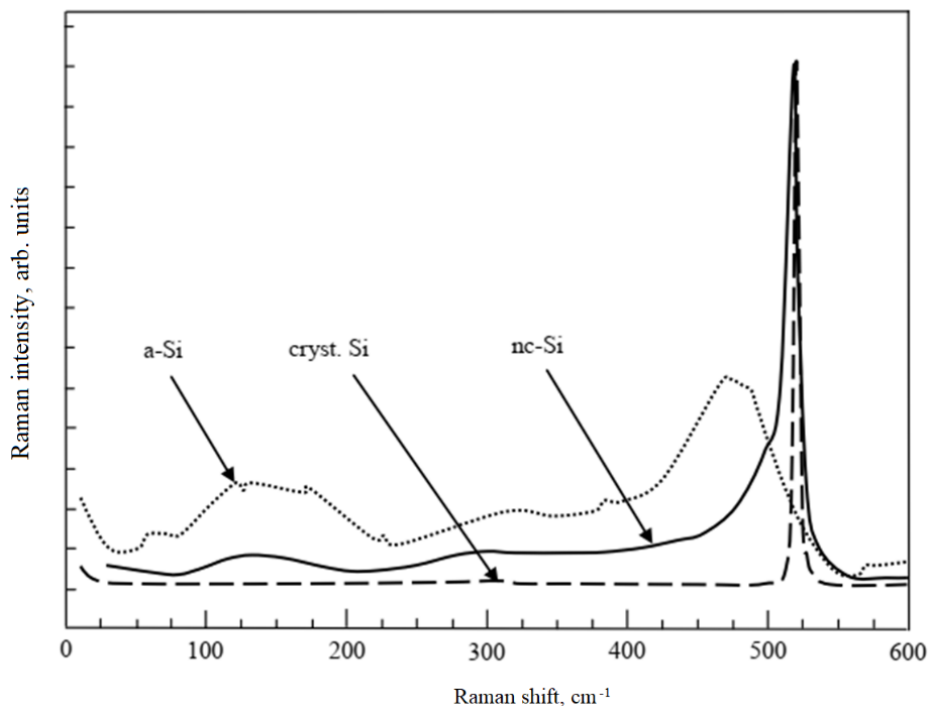


Figure 3. Raman spectra of amorphous, crystalline and microcrystalline silicon

Note – compiled by the author based on (Levitsky, 2001)

As can be seen when considering the existing attempts to identify the polymorphism of silicon structures, there are many internal and external contradictions in this issue that require resolution. The proposed solutions are not complete enough; additional research is needed to give a more accurate and reasonable interpretation of the Raman spectra of thin silicon films.

Materials and methods of research. Silicon nanofilms were obtained by magnetron sputtering using the Caroline D12C system. Silicon crystals grown by the Czochralski method using commercial high-purity silicon of SoG-Si grade 6-7N were used as targets for magnetron sputtering. The substrate was copper foil 0.5 mm thick. The thickness of the silicon film was 300-400 nm .

Raman spectroscopic analysis was carried out on a Horiba brand system Jobin – Yvon HR800UV (France). An argon-cadmium laser with a wavelength of 315 nm was used as the excitation source. The laser power on the sample was $\sim 25\text{ mW}$ for Ar / Cd . The holographic diffraction grating had 2200 lines/mm for a 315 nm laser and was focused onto a CCD detector. The lens was Olympus 412 UV for Ar / Cd. The measurements were carried out in the range from 0 to 3200 cm^{-1} . No filter was used to reduce the radiation entering the detector from the samples.

The essence of the method is that when a laser beam with a wavelength of 315 nm (wave number about 31000 cm^{-1}) passes through the silicon film under study, the wave energy is absorbed and, accordingly, the wavelength increases (the wave number decreases by about 2-5%). The detector estimates the energy of all scattered particles reflected from the film based on the wave number. The device data processing program performs deconvolution according to the method described in the literature (Kemmer G.,2010; Mysen B.,1982; Ferraro J. R., 2003), i.e. subtracts the wave numbers of scattered particles from the original wavenumber, estimates the statistical distribution of this difference, and calculates the fractional content of each polymorphic silicon phase in the film identified by the peak in the spectrogram, proportional to the area of the peak relative to the base line of the spectrogram. Baseline correction was previously performed on the original spectra before data normalization. Data normalization helps to compare small deviations in spectra. The formula for data normalization is described in the literature (Mysen B.,1982).

Results and Discussions. During the research, two types of silicon films were studied, obtained under different conditions of magnetron sputtering. For each type of film, several parallel measurements of Raman spectra were carried out at several different points along the entire surface of the film. This test showed the uniformity of the Raman spectra over the entire surface of each film, which indicates the advantage of magnetron sputtering technology over the CVD method in terms of ensuring film uniformity.

Figure 4 shows the Raman spectrogram of the first type of silicon film.

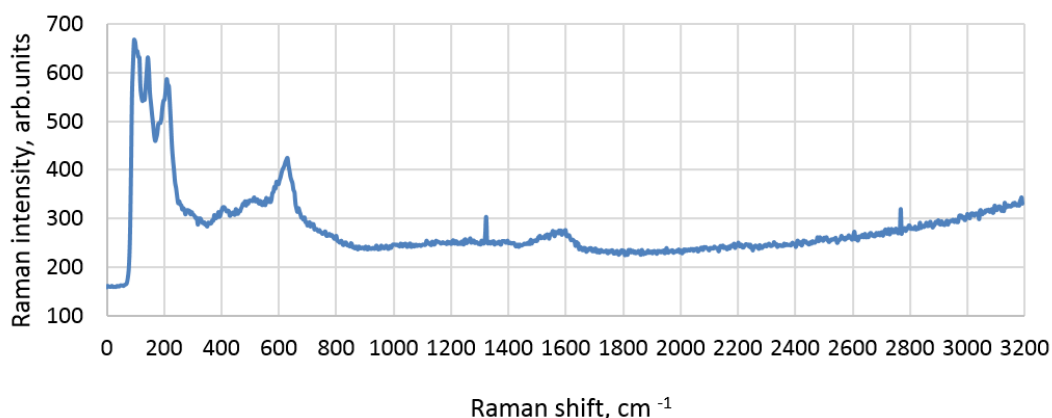


Figure 4. Raman spectrogram of silicon film of the first type

Note – compiled by the author

We will interpret the spectrum based on the data in Figure 3. We will consider the split peak with a maximum in the region of 120 cm^{-1} as a manifestation of amorphous silicon. The peak with a maximum around 210 cm^{-1} is interpreted as a crystalline form of silicon. In the region of 408 and 520 cm^{-1} there are minor peaks of the second order, which can be assessed as trace amounts of nanosilicon. The spectrogram also has peaks in the range 600 - 660 cm^{-1} and 1500 - 1660 cm^{-1} . According to the literature, the second peak corresponds to copper (Lopes C. S. D.,2018) and copper can also give a peak in the region of 900 - 1000 cm^{-1} , which casts doubt on the reasoning given by Sh.B. Utemuradova regarding the belonging of this peak to crystalline silicon. This means that the laser wavelength of 315 nm was sufficient for the beam to penetrate the substrate and record its spectrum. It is possible that if the studies discussed here (Levitsky V. S., 2001; Gaisler S. V., 2004; Utemuradova S. B., 2009) had examined the Raman spectrum over a wider range, they might also have captured the substrate material. As for the peak at 600 -

660 cm^{-1} , it can be assumed that it refers to transitional copper silicides between the substrate and the silicon film, which could arise during the deposition of the first portions of silicon on the copper substrate. Data on the formation of thin films of copper silicides a-Si (50 nm)/ Cu (200 nm)/a-Si (50 nm) are available in the literature (Buchin E. Yu.,2019). However, it is not possible to compare the results, because the authors studied copper silicide films using diffractometry rather than Raman spectroscopy.

The software package integrated into the spectroscopy equipment provides automated deconvolution, but for additional verification, the spectrum obtained from the analysis of the first type of film was subjected to manual deconvolution. The normalized Raman spectrum curves for deconvolution are presented in Figure 5.

Integrating the fit function of the normalized Raman spectra in the peak range over the baseline allows one to find the area under the curve. We sum up the areas of two peaks (amorphous and crystalline phases) and take them as 100%. Accordingly, we calculate the share of each phase in proportion to the area under the peak of this phase. For amorphous silicon this would be 77.7% and for crystalline silicon 22.3%, which is close to the values obtained from automated deconvolution of 76.1 and 23.9%, respectively. As can be seen in the normalized spectrogram, the peak probably related to nanosilicon (520 cm^{-1}) was practically leveled to the noise level. In this regard, we do not take this component into account in the calculation and take the fraction of the nanosilicon phase equal to zero.

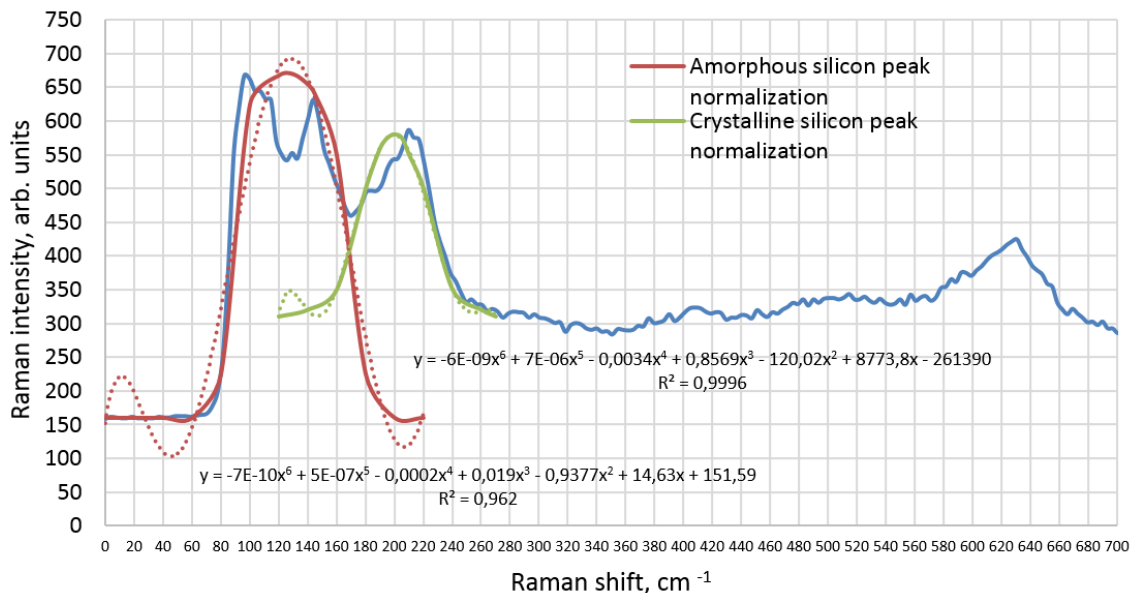


Figure 5. Normalized curves of the Raman spectrum, silicon films of the first type

Note – compiled by the author

Figure 6 shows the Raman spectrogram of the second type of silicon film. The height of the peaks of amorphous silicon in the region of 120 cm^{-1} , as well as of crystalline silicon in the region of 210 cm^{-1} , decreased sharply. At the same time, their splitting was preserved. The peak at 408 cm^{-1} completely disappeared, and the nanosilicon peak with a maximum at 519 cm^{-1} increased significantly. However, at high altitudes, the peak width is relatively small. At the same time, the peak in the range of 600-660 cm^{-1} remained, but its height decreased. The peak corresponding to copper at 1500-1660 cm^{-1} disappeared completely, but was preserved to a limited extent in the region of 900-1000 cm^{-1} .

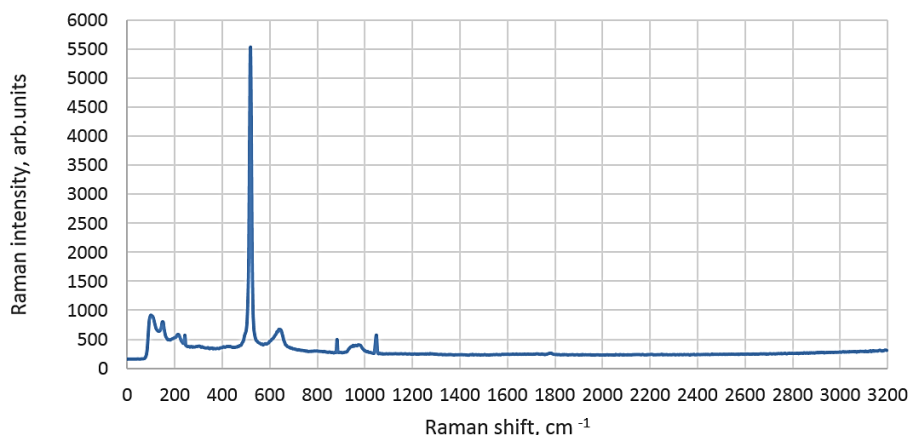


Figure 6. Raman spectrogram of a second type silicon film

Note – compiled by the author

Considering that the wavelength and laser power of Raman spectroscopy were the same when studying both films and the thickness of the films was the same, we can conclude that the nature of the film itself has fundamentally changed. The second type of film is less transparent to the laser beam and does not allow identification of the copper substrate, but still makes it possible to assess the presence of an intermediate layer of copper silicide located between the substrate and the silicon film.

Figures 7 (nano-silicon peak) and 8 (amorphous and crystalline silicon peaks) present the normalized Raman spectrum curves of the second type film used for deconvolution and determination of the ratio of various polymorphic states. The results of manual deconvolution calculations are confirmed by the data of automatic calculations. As can be seen from the calculation results, the film of the second type is represented mainly by the nanosilicon phase against the background of a reduction in the amorphous and, to a greater extent, crystalline phases.

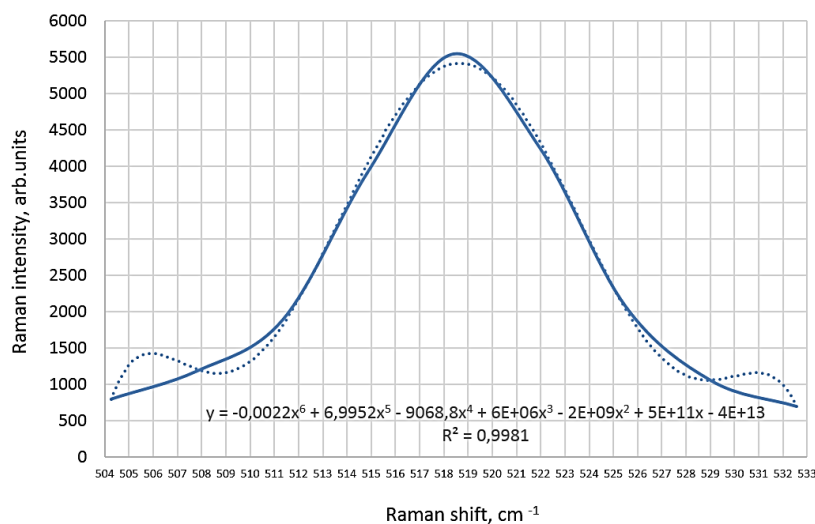


Figure 7. Normalized curve of the Raman spectrum (nano-silicon peak) of a second type silicon film

Note – compiled by the author

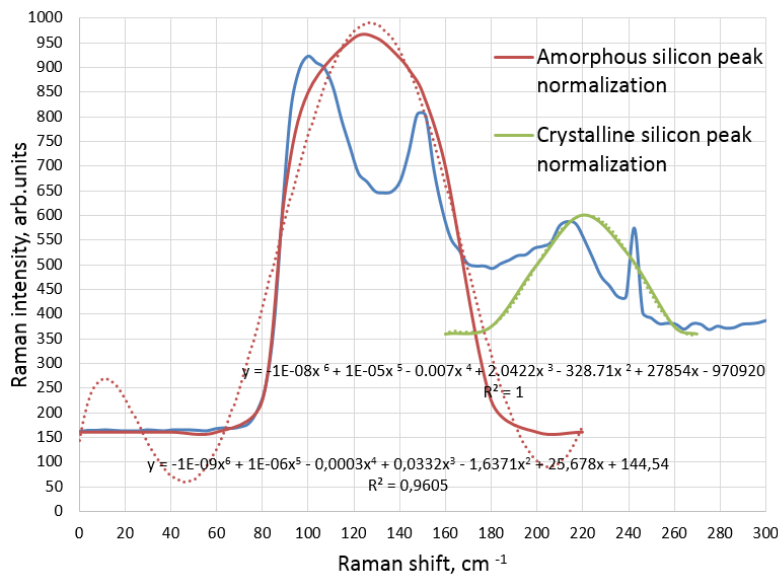


Figure 8. Normalized curves of the Raman spectrum, silicon films of the second type (peaks of amorphous and crystalline silicon)

Note – compiled by the author

Conclusions. Two different types of films were investigated. Parallel measurements of Raman spectra showed the homogeneity of the polymorphic composition of both types of films, which confirms the advantages of magnetron sputtering technology over the CVD method. The analysis revealed a split peak at about 120 cm^{-1} , interpreted as amorphous silicon, and a peak at about 210 cm^{-1} corresponding to crystalline silicon. Peaks around 408 and 520 cm^{-1} may indicate nanosilicon. The spectrogram also contains peaks in the range of $600\text{--}660\text{ cm}^{-1}$, presumably copper silicide, and peaks at $900\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ and $1500\text{--}1660\text{ cm}^{-1}$ identified as copper. For silicon films with an amorphous and crystalline structure, a laser wavelength of 315 nm is sufficient to penetrate the substrate and record its spectrum, while copper is identified by peaks in the region of $1500\text{--}1660\text{ cm}^{-1}$. The nanocrystalline structure is less transparent, and copper in this case is identified by peaks around $900\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$. The results obtained are most consistent with the data obtained by V.S. Levitsky. [6], whose methods for identifying Raman spectra of silicon films are recommended to be used as the most accurate in comparison with other studies (Gaisler S. V., 2004; Kamei T., 1999; Utemuradova S. B., 2022) describing the relationship between Raman spectroscopy and polymorphism of silicon films.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Notification of the use of generative AI and technologies using it in the process of writing a manuscript. In preparing this work, the authors did not use generative AI and technologies based on its use in the process of writing the manuscript.

References

- Daliev, K.S., Utemuradova, S.B., Bozorova, O.A., & Daliev, S.Kh. (2005). Raman scattering of light by silicon single crystals doped with chromium atoms. *Applied Solar Energy*, 41(1), 80. <https://doi.org/10.51368/1996-0948-2022-2-33-38>.
- Abdurakhmanov, K.P., Utemuradova, S.B., Daliev, K.S., Tady-Aglaeva, S.G., & Ergashev, R.M. (1998). Light scattering in semiconductors doped with chromium. *Semiconductors*, 32(6), 606. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-2-44>.

- Catchpole, K.R., McCann, M.J., Weber, K.J., & Blakers, A.W. (2001). A review of thin-film crystalline silicon for solar cell applications. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 68(2), 173-215. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00242-7](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00242-7).
- Yoshihiro, H. (2002). Solar PV energy conversion and the 21st century's civilization. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 74(1), 13-23. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(02\)00043-0](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(02)00043-0).
- Bergmann, R.B., & Werner, J.H. (2002). The future of crystalline silicon films on foreign substrates. *Thin Solid Films*, 403-404, 162-169. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(01\)01556-5](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(01)01556-5).
- Levitsky, V.S. (2001). Processing of Raman spectra of amorphous and microcrystalline silicon. *Solid State Physics and Electronics*, 5, 3-8. <https://doi.org/10.1134/1.1788789>.
- Gaisler, S.V., Semenova, O.I., Sharafutdinov, R.G., & Kolesov, B.A. (2004). Analysis of Raman spectra of amorphous-nanocrystalline silicon films. *Solid State Physics*, 46(8), 1484-1488. <https://doi.org/10.1134/1.1789705>.
- Kamei, T., Stradins, P., & Matsuda, A. (1999). Effects of embedded crystallites in amorphous silicon on light-induced defect creation. *Applied Physics Letters*, 74(12), 1707. <https://doi.org/10.1063/1.123652>.
- Utemuradova, S.B., Stanchik, A.V., Faizullaev, K.M., & Bakirov, B.A. (2022). Raman scattering of light by silicon single crystals doped with chromium atoms. *Applied Physics*, 2, 33-38. <https://doi.org/10.51368/1996-0948-2022-2-33-38>.
- Temple, P.A., & Hathaway, C.E. (1973). Multiphonon Raman Spectrum of Silicon. *Physical Review*, 7(8), 3685.
- Wellner, A., Paillard, V., Coffin, H., Cherkashin, N., & Bonafos, C. (2004). Resonant Raman scattering of a single layer of nanocrystals on a silicon substrate. *Journal of Applied Physics*, 96(4), 2403.
- Zhigunov, D. M., Kamaev, G. N., Kashkarov, P. K., & Volodin, V. A. (2018). On Raman scattering cross section ratio of crystalline and microcrystalline to amorphous silicon. *Applied Physics Letters*, 113(2), 023101. <https://doi.org/10.1063/1.5037008>.
- Raczykowski, B., et al. (2017). High-temperature behavior of silicon nanocrystals. *Nature Communications*, 8, 415. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00417-4>.
- Sachat, E., et al. (2017). Thermal conductivity and air-mediated losses in periodic porous silicon membranes at high temperatures. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00115-4>.
- Kemmer, G., & Keller, S. (2010). Nonlinear Least-Squares Data Fitting in Excel Spreadsheets. *Nature Protocols*, 5, 267-281. <https://doi.org/10.1038/nprot.2009.182>.
- Mysen, B., Finger, L., Virgo, D., & Seifert, F. (1982). Silicate Melts. *American Mineralogist*, 67, 686-695. <https://doi.org/10.2138/am-1982-7-805>.
- Ferraro, J. R., Nakamoto, K., & Brown, C. W. (2003). *Introductory Raman Spectroscopy (Vol. 8)*. Academic Press, San Diego, CA.
- Lopes, C. S. D., Reyes, L. P. K., & Santos, A. D. (2018). Evaluation of Carbon Thin Films Using Raman Spectroscopy. *Materials Research*, 21(4), Article e20170787. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0787>.
- Buchin, E. Yu., Naumov, V. V., & Vasiliev, S. V. (2019). Formation of nanoporous films of copper silicides. *Physics and Technology of Semiconductors*, 53(3). <https://doi.org/10.21883/FTP.2019.03.47297.8972>.

Information about the authors

Tolubayev Kanat – Doctoral student, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: kanat.tolubayev@ttu.edu.kz, ORCID: 0009-0007-0868-7088

Zhautikov Bakhyt – Doctor of Technical Sciences, Professor, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: bakhyt_zhautikov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0908-4533

Zobnin Nikolai – Candidate of Technical Sciences, Karaganda Industrial University, Temirtau, E-mail: zobninn@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8556-2971

Dairbekova Guldana – PhD, Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan. E-mail: guldana.01.02.91@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1528-0637

Kabiyeva Saule – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: kabieva.s@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4868-5278

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_95
MPHTI 55.57.33

К.Т. Утеулов¹, М.А. Адуов¹, С.Н. Капов², С.А. Нукушева¹, К.Г. Исенов¹

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

*E-mail: kanat-uteulov@mail.ru**

E-mail: aduov50@mail.ru

E-mail: nukusheva60@mail.ru

E-mail: isenov-kz@mail.ru

²Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия

E-mail: capov-sn57@mail.ru

АНАЛИЗ СХЕМ РАСТАНОВОК ЛАПОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ШИРОКОЗАХВАТНЫХ СЕЯЛКАХ БЛИЖНЕГО И ДАЛЬНОГО ЗАРУБЕЖЬЯ

ЖАҚЫН ЖӘНЕ АЛЫС ШЕТЕЛДЕРДЕГІ КЕҢ АЛЫМДЫ СЕПКІШТЕРДЕ ТАБАН ТӘРІЗДЕС ЖҰМЫС ОРГАНДАРЫНЫҢ ОРНАЛАСУ СХЕМАЛАРЫНА АНАЛИЗ

ANALYSIS OF THE SCHEMES OF THE ARRANGEMENT OF THE PAW WORKING BODIES ON THE WIDE-REACH SEEDERS OF THE NEAR AND FAR ABROAD

Аннотация. В статье были проанализированы схемы расстановок лаповых рабочих органов заделывающей части на широкозахватных сеялках ближнего и дальнего зарубежья. Рассмотрены схемы расстановок в трех и пяти секционных широкозахватных сеялках с различными значениями ширины захвата. Установлено, что в некоторых конструкциях заделывающей части широкозахватных сеялок не присутствуют транспортные колеса, их функции выполняют опорно-прикатывающие катки в виде пневматических колес и передние технологические колеса, которые при посеве семян и удобрений регулируются для установки глубины заделки.

При наличии транспортных колес, они могут быть установлены на раме заделывающей части и вне рамы. Таким образом, необходимо учитывать наличие транспортных колес и их расположение относительно рамы, так как от них зависит порядок и последовательность оптимального распределения лаповых рабочих органов на раме заделывающей части. Основной целью рационального распределения лаповых рабочих органов является предотвращение забивания растительными остатками пространства между рядами рабочих органов и учета зоны распространения деформации почвы между ними.

По итогам анализа схем расстановок лаповых рабочих органов на раме заделывающей части появилась необходимость распределения их на несколько основных типов в зависимости от наличия транспортных колес и их расположения. Далее определялись тяговые классы тракторов, которые агрегируются широкозахватными сеялками в зависимости от ширины захвата и количества секции.

Ключевые слова: широкозахватная сеялка, посевной комплекс, заделывающая часть, лаповый рабочий орган, схема расстановки, тяговый класс.

Аңдатпа. Мақалада, жақын және алыс шетелдердің кең алымды сепкіштеріндегі тұқым еңгізу бөлігінің қаңқасында, табан тәріздес жұмыс органдарының орналасу схемалары зерттелді. Алым енінің мөндері әртүрлі, үш және бес секциялық кеңалымды сепкіштердегі жұмыс органдарының орналасу схемалары қарастырылған. Кейбір кеңалымды сепкіштердің тұқым еңгізу бөлігінің конструкцияларында тасымалдау дөңгелектері жоқ екендігі анықталды, олардың функцияларын пневматикалық дөңгелек түріндегі тірек-нығыздау катоктары мен алдыңғы технологиялық дөңгелектер орындайды. Сонымен қатар, олар тұқым мен тыңайтқыштарды себу бойынша технологиялық процесті жүзеге асыру барысында, еңгізу тереңдігін орнату үшін қолданылады.

Тасымалдау дөңгелектері болған жағдайда, олар тұқым еңгізу бөлігінің қаңқасына байланысты оның ішінде немесе одан тыс жерінде орналасуы мүмкін. Осылайша, тасымалдау дөң-

гелектерінің болу мүмкіндігін және олардың орналасуы орнын ескеру қажет. Өйткені, табан тәріздес жұмыс органдарының тұқым енгізу бөлігінің қаңқасында оңтайлы орналасуы мен реттілігі тасымалдау дөңгелектерінің болуына және олардың орналасу орнына байланысты. Табан тәріздес жұмыс органдарын оңтайлы орналасуының негізгі мақсаты – жұмыс органдарының қатарлары арасындағы кеңістіктің өсімдік қалдықтарымен бітелуіне жол бермеу және олардың арасындағы топырақтың деформациясының таралу аймағын есепке алу болып табылады.

Табан тәріздес жұмыс органдарының орналасу схемаларын зерттеу нәтижелері бойынша, тұқым енгізу бөлігінің қаңқасында тасымалдау дөңгелектерінің болуына және оның орналасуына орнына байланысты бірнеше негізгі түрге бөлу қажеттілігі туындады. Әрі қарай, жоғарыда аталған кең алымды сепкіштердің алым ені мен секциялар санына байланысты тіркелетін тракторлардың тарту класстары анықталды.

Түйін сөздер: кеңалымды сепкіш, сепкіш комплекс, тұқым енгізу бөлігі, табан тәріздес жұмыс органы, орналасу схемасы, тарту класы.

Abstract. In the article, the schemes of the arrangement of the paw working bodies on the frame of the sealing part in the wide-reach seeders of the near and far abroad were investigated. The schemes of arrangements in three and five sectional wide-reach seeders with different values of the width of the grip are considered. It is established that in some designs of the sealing part of wide-reach seeders there are no transport wheels, their functions are performed by support-rolling rollers in the form of pneumatic wheels and front technological wheels. Also, when performing the technological process for sowing seeds and fertilizers, they serve to set the depth of sealing.

In the presence of transport wheels, they can be installed in the frame of the sealing part and beyond. Thus, it is necessary to take into account the presence of transport wheels and their location relative to the frame, since the order and sequence of the optimal distribution of the foot working bodies on the frame of the sealing part depends on them. Further, traction classes of tractors were determined, which are aggregated by the aforementioned wide-reach seeders, depending on the width of the grip and the number of sections.

Keywords: a wide-reach seeder, a sowing complex, a sealing part, a paw working body, a layout scheme, a traction class.

Введение. Задачей сельскохозяйственного производства является получение высоких урожаев, и основа для этого закладывается при посеве (Адуов М., Nukusheva S., Kaspakov E., Isenov K., Volodya K., 2019). Посев – это равномерное распределение семян на определенную глубину по всей площади поля, обеспечивающее создание оптимальной площади питания для прорастания семян и появления дружных всходов (Адуов М.А., Каров S.N., Nukusheva S.A., Rakhimzhanov M.R., 2019). Оно выполняется различными видами сеялок, которые разделяются по виду высеваемой сельскохозяйственной культуры, способу посева и принципу работы. Классификация сеялок представлена на схеме, рис. 1.



Рисунок 1. Классификация сеялок

Примечание – составлено автором на основе (Адуов М.А., Каров S.N., Nukusheva S.A., Rakhimzhanov M.R., 2019)

По виду высеваемой сельскохозяйственной культуры сеялки бывают универсальными, специальными и комбинированными. Универсальные сеялки отличаются широкой областью применения: для посева зерновых, зерноотрубных, бобовых, масличных, травяных культур и для засева полей культурами одного вида, такими как кукуруза, свекла, овощи, хлопок и т.п. Высокотехнологичные комплексы, одновременно выполняющие несколько опций, относятся к комбинированному типу. Это агрегаты, которые дополнительно оснащены туковывсевающими аппаратами, одновременно выполняющие внесение в почву минеральных удобрений вместе с семенами (Статья «Разновидность сеялок и их конструктивные особенности», 2018).

По способу посева сеялки подразделяются на рядовые, гнездовые, квадратно-гнездовые, пунктирные и разбросные. Рядовые сеялки производят высева семенного материала рядовым, ленточным и сплошным широкорядным способами. Гнездовые – обеспечивают четкую закладку семян в рядовые «гнезда». Квадратно-гнездовые – осуществляют полную заделку семян по вершинам квадратов. Пунктирные (однозерновые) – предназначены для широкорядного посева; обеспечивают размещение семян на равном друг от друга расстоянии. Разбросные сеялки подходят как для посева семян, так и для внесения удобрений. Они активно используются в ходе мероприятий по улучшению состояния естественных кормовых угодий (Статья «Разновидность сеялок и их конструктивные особенности», 2018).

По принципу работы, то есть по способу посева семенного материала, сеялки бывают механические и пневматические. Механические сеялки распределяют семена в борозды «самотеком», из-за чего в некоторые ряды семена могут не попасть под почву, что приводит к снижению урожая. Пневматические сеялки отличаются тем, что они доставляют семена в борозды воздушным потоком, который создается специальным вентилятором, устанавливаемым на бункере-прицепе. К ним относятся почвообрабатывающие посевные агрегаты, посевные комплексы и широкозахватные сеялки (Статья «Сеялка – что это, виды, применение»).

Широкозахватная сеялка – это сельскохозяйственная машина, которая выполняет несколько технологических операций одновременно, характерных для нескольких машин. Такие сеялки состоят из двух частей: высевающей (бункер-прицеп) и заделывающей (культиваторной).

Высевающая часть состоит из бункера с дозирующим устройством и его приводом, смонтированными на специальной раме (прицеп). В передней части рамы устанавливается вентилятор с воздухосемяпроводом и распределительным устройством (Aduov M.A., Kapov S.N., Nukusheva S.A., Rakhimzhanov M.R., 2019). В высевающей части семена поступают из бункера к дозирующему устройству и подаются в воздухосемяпровод. Далее они переносятся потоком воздуха к распределительной головке, установленной в заделывающей части, и через семятукпроводы при помощи рабочих органов (сошников) заделываются в почву.

Заделывающая часть предназначена для непосредственной заделки семян на заданную глубину во влажный слой почвы (Сорокин П., главный инженер ФГБУ «Сибирское МИС», ФГБУ «Сибирская государственная зональная машиноиспытательная станция») заделывающими рабочими органами с последующим уплотнением прикатывающими рабочими органами (катками) и состоит из отдельных секций, шарнирно соединенных друг с другом, обеспечивающих копирование рельефа поля. Каждая из секций имеет раму, на которую устанавливаются навесные устройства и механизмы. К ним относятся: рабочие органы, секции прикатывающих катков, передние опорные колеса, механизмы заглубления сошников, механизм перевода секции с транспортного в рабочее положение.

Дополнительные транспортные колеса устанавливаются только в центральной секции. На передней части центральной секции закрепляется прицепное устройство для агрегатирования заделывающей части с высевающей.

В заделывающей части широкозахватной сеялки устанавливаются разные типы заделывающих и прикатывающих рабочих органов. Ниже представлены их основные виды, рис. 2.



Рисунок 2. Основные типы заделывающих и прикатывающих рабочих органов

Примечание – составлено автором

Выбор рабочих органов зависит от агротехнических требований, способа посева, способа обработки почвы и почвенно-климатических условий региона, где данная техника будет применяться (Адуов М.А., Nukusheva S.A., Kasprakov E.Zh., Isenov K.G., VolodyaK., Tulegenov T.K., UteulovK.T 2020, АдуовМ.А., Научно-технические основы создания технических средств посева зерновых и минеральных удобрений на северной территории Казахстана, 2008, Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана», 2020).

Проектируемая широкозахватная сеялка предназначена для регионов Северного Казахстана, где климат в основном резко континентальный с засушливым летом (Википедия). Среднее количество выпадающих осадков от 300 мм на юге региона и до 600-700 мм на севере региона. На территории Северного Казахстана преобладают степные почвы, имеющие не однозначную среду (Капов С.Н., Адуов М.А., Нукушева С.А., 2014), которые относятся к легким по механическому составу, подверженным к ветровой эрозии (Википедия). Ветровая эрозия проявляется в районах с малым количеством осадков, высокими весенними и летними температурами воздуха, усиленной ветровой деятельностью, малой связностью почв, и особенно на сельскохозяйственных угодьях со слабым растительным покровом (Википедия).

Рабочими органами, удовлетворяющими специфические требования, обусловленные принципами почвозащитного земледелия от ветровой эрозии, являются сошники культиваторного типа в виде стрельчатых лап.

На стадии проектирования широкозахватной сеялки возникает необходимость оптимального размещения рабочих органов на раме заделывающей части с целью предотвращения забивания растительными остатками пространства между рядами сошников и учета зоны распространения деформации почвы между сошниками. При этом стоит учесть наличие транспортных колес и их расположение относительно рамы, так как от них зависит порядок и последовательность распределения рабочих органов на раме заделывающей части.

Были изучены схемы расположения лаповых рабочих органов на раме заделывающей части широкозахватных сеялок дальнего и ближнего зарубежья с целью определения их основных типов.

После анализа схем расстановок рабочих органов, были определены тяговые классы тракторов, необходимых для агрегатирования с широкозахватными сеялками в зависимости от количества секций и ширины захвата.

Материалы и методы исследования. В настоящее время на рынке сельскохозяйственной техники представлены разнообразные модели сеялок от всемирно известных мировых брендов и новых производителей. Иногда бывает трудно сделать выбор среди них и подобрать тот вариант, который оптимально соответствует потребностям фермерского и крестьянского хозяйства. Одни производители показывают высокую технологичность, другие – производительность, третьи славятся точностью высева сельхоз культур. В зависимости от высеваемой культуры их изготавливают как для специального применения для посева одной именно культуры, так и комбинированного типа для выполнения нескольких операций. Существуют и универсальные широкозахватные сеялки, которые отличаются широкой областью применения; эксплуатируются для засева полей зерновыми, зернотравяными, бобовыми, масличными, травяными культурами. Ниже произведен анализ широкозахватных сеялок и схем расстановок лаповых рабочих органов по раме заделывающей части.

Первым из них является широкозахватные посевные комплексы культиваторного типа «Agrator» от ООО «Производственная компания «Агромастер» (РФ, Республика Татарстан) рис. 3.



Рисунок 3. Посевной комплекс культиваторного типа «Agrator»

Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт ООО «ПК Агромастер»)

Пневматические посевные комплексы «Agrator» культиваторного типа предназначены для ресурсосберегающей технологии возделывания зерновых культур. Он выполняет операции по рыхлению почвы и подрезанию стерни, подготавливает семенное ложе, производит посев полосой 12-15 см, заделывает полосу посева мульчированным слоем, производит боронование посевов, вычесывает сорняки и прикатывает полосу посева. Главное отличие посевных комплексов заключается в том, что они обеспечивают качество посевов при работе по стерне и на полях с большим количеством растительных остатков (Официальный сайт ООО «ПК Агромастер»).

Данный агрегат имеет модификации с шириной захвата от 6,6 м до 16 м, состоящие из трех и пяти складываемых секции. Рабочие органы – стрельчатые лапы шириной 330 мм испанской фирмы «Bellota». Они расположены в 3 ряда, ширина междурядья, в зависимости от модели, составляет 240 мм и 300 мм, ширина перекрытия – 9 см и 3 см соответственно. Сошники в центральной и боковой секции расположены в шахматном варианте. Расстояние между рабочими сошниками во всех рядах равно 72 см, между рядами сошников – 60 см.

Посевной комплекс имеет следующую схему расстановки рабочих органов, рис.4 (Официальный сайт ООО «ПК Агронастер»).

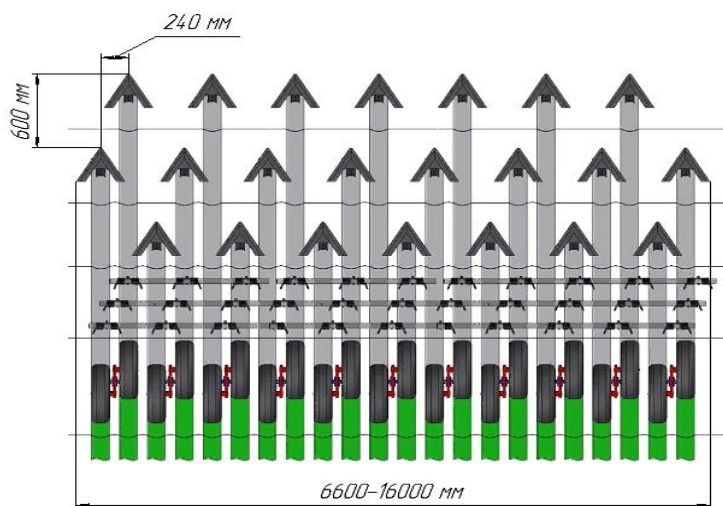


Рисунок 4. Схема расстановки рабочих органов центральной секции сеялки «Agrator»

Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт ООО «ПК Агронастер»)

Следующим посевным комплексом культиваторного типа является «Partner», рис. 5. Посевной комплекс работает по технологии сплошного посева.



Рисунок 5. Посевной комплекс культиваторного типа «Partner» (Партнер)

Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт ЧП «Украинская Аграрная Техника»)

Посевной комплекс имеет 4 ряда орудий: культиватор, пружинные бороны, прикатывающие колеса и штригеля. Он выполняет все операции за один проход по полю: культивирование, посев, внесение полного объёма удобрений, прикатывание высеянных семян на глубину их заделки с образованием верхнего мульчирующего слоя, вычесывание сорняков (97-98 %) и выравнивание почвы. Затем посевной культиватор отстегивается от комплекса и используется в режиме культивации (Официальный сайт ЧП «Украинская Аграрная Техника»).

Посевной комплекс предлагается в варианте с шириной захвата 7,5 м и 8,5 м, состоящий из 3-х секций. Для того, чтобы исключить забивание культиватора растительными остатками, рабочие органы расставили в 4 ряда. В качестве рабочих органов посевного комплекса используются лапы со стойками испанской фирмы «Bellota» с шириной захвата 375 мм. Шаг установки рабочих органов 310 мм, при этом лапы перекрывают друг друга на 6,5 см, что позволяет максимально подрезать сорняки. Расстояние между сошниками в первом ряду 95 см, между рядами сошников – 40 см. Схема расстановки рабочих органов сеялки приведена на рис. 6 (Официальный сайт ЧП «Украинская Аграрная Техника»).

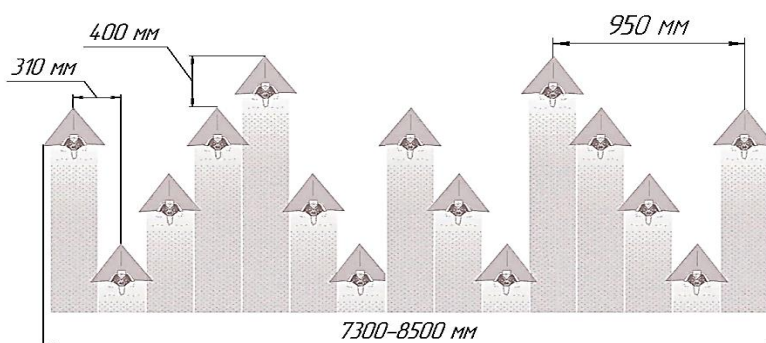


Рисунок 6. Схема расстановки рабочих органов центральной секции сеялки «Partner»

Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт ЧП «Украинская Аграрная Техника»)

Компания JohnDeere выпускает широкозахватные сеялки культиваторного типа моделей 1830, 1835 и 1840 (рис. 7).



Рисунок 7. Широкозахватные сеялки культиваторного типа John Deere моделей 1830, 1835

Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт компании John Deere)

Модель 1830 относится к сеялке с анкерным рабочим органом, но она имеет возможность замены анкерного сошника на стрельчатую лапу. Различие моделей в том, что в некоторых моделях предусмотрена функция раздельного внесения удобрений (1835), высев семян и внесение удобрений за один проход (1830) (Официальный сайт компании John Deere, Проспекты фирм Morris Maxim, JohnDeere, Amazone, Kuhn, Kockerling, MASCHIO-GASPARDO, Horsh).

Широкозахватные сеялки моделей 1830 (культиваторного типа) обеспечивают стабильную глубину заделки семян и выравнивание поля после посева благодаря гибкой конструкции рамы. Данная конструкция также увеличивает долговечность и надежность посевной машины (Официальный сайт компании John Deere, Проспекты фирм Morris Maxim, JohnDeere, Amazone, Kuhn, Kockerling, MASCHIO-GASPARDO, Horsh).

На рис. 8 приведена схема расстановки рабочих органов широкозахватной сеялки Джон Дир 1830. Ширина захвата в 3-х секционном варианте 10,4 м и 12,5 м, в 5-ти секционном – 15,3 м, 17,4 м и 18,6 м. Рабочие органы – стрельчатые лапы Tri-PositionPerma-Loc с шириной захвата 305 мм, расположенные в 3 ряда. При ширине междурядья 254 мм перекрытие составляет 5,1 см. Расстояние между сошниками в ряду 76,2 см, между рядами сошников – 73,5 см. Рабочие органы на центральной и боковой секции расположены в шахматном варианте (Официальный сайт компании John Deere, Проспекты фирм Morris Maxim, JohnDeere, Amazone, Kuhn, Kockerling, MASCHIO-GASPARDO, Horsh).

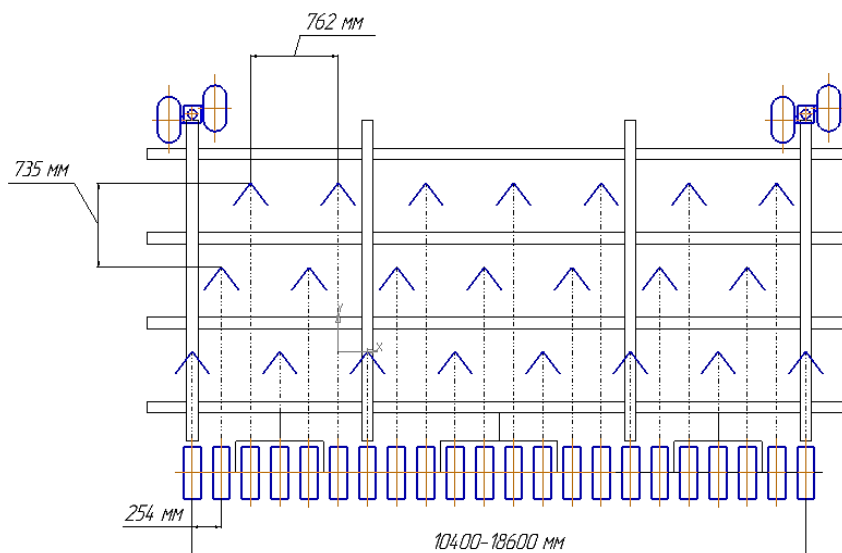


Рисунок 8. Схема расстановки рабочих органов центральной секции сеялки «John Deere 1830»
Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт компании John Deere)

Компания Morris выпускает сеялку культиваторного типа Maxim II – широкозахватный агрегат для посева и обработки почвы (рис. 9). Сеялка производит культивацию, посев и внесение удобрений за один проход и имеет запатентованное соединение рам, обеспечивающее гибкость и точное копирование рельефа почвы. Двойные поворотные колеса на секции с крыльями, а также на основной раме увеличивают точность внесения семян и удобрений. Шины 12.5L *15 обеспечивают максимальную проходимость на влажных участках (Проспекты фирм Morris Maxim, JohnDeere, Amazone, Kuhn, Kockerling, MASCHIO-GASPARDO, Horsh, Официальный сайт компании Morris).



Рисунок 9. Широкозахватная сеялка культиваторного типа MorrisMaxim II

Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт компании Morris)

Ширина захвата в 3-х секционном варианте 8,84 м и 11,89 м, в 5-ти секционном – 14,94 м и 18,29 м. Расстановка сошников производится в 4 ряда. Расстояние между сошниками в ряду 76,2 см при ширине междурядья 190 мм и 254 мм, 91,4 см при 305 мм. Зона перекрытия составляет 5,1 см при междурядье 254 мм. Расстояние между рядами сошников 61 см. Расположение рабочих органов на центральной секции Z-образно, на боковых секциях – в шахматном варианте (Проспекты фирм Morris Maxim, JohnDeere, Amazone, Kuhn, Kockerling, MASCHIO-GASPARDO, Horsh, Официальный сайт компании Morris). Схема расположения сошников широкозахватной сеялки «MorrisMaxim II» показана на рис. 10.

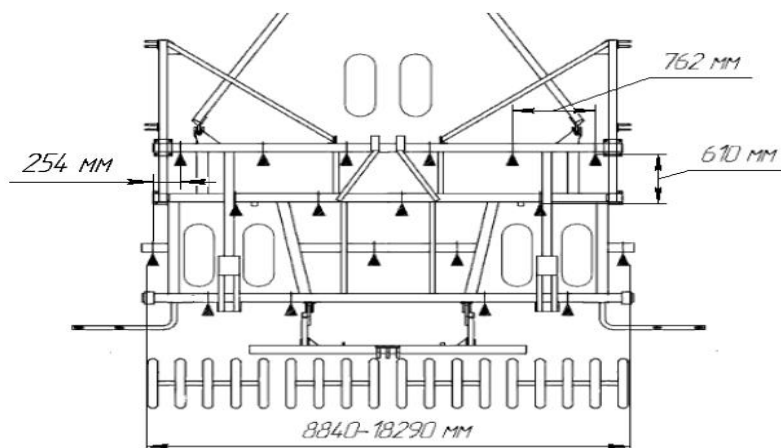


Рисунок 10. Схема расстановки рабочих органов центральной секции сеялки «MorrisMaxim II»

Примечание – составлено автором на основе (Официальный сайт компании Morris)

Результаты и их обсуждения. Проанализировав схемы расстановок рабочих органов на широкозахватных сеялках ближнего и дальнего зарубежья, можно сделать следующие выводы. Для того, чтобы оптимально провести расстановку рабочих органов на раме заделывающей части широкозахватной сеялки, предполагается разделить их на 4 типа:

– тип 1 – транспортные колеса установлены во внутренней части рамы (секции) и участвует при проведении технологической операции;

- тип 2 – транспортные колеса установлены во внутренней части рамы (секции) и не участвует при проведении технологической операции;
- тип 3 – транспортные колеса установлены вне рамы (вне секции) и не участвуют в технологической операции;
- тип 4 – транспортных колес нет, а функции их выполняют пневматические опорно-прикатывающие катки.

Для типов 1 и 2, когда транспортные колеса установлены во внутренней части центральной секции, не всегда возможно сохранить одинаковое расстояние между сошниками в одном ряду. В первом ряду есть возможность расстановки сошников на одинаковом расстоянии друг от друга, как приводится в схемах расстановки рабочих органов сеялки «Partner» и «Morris Maxim II». В остальных же рядах это невозможно, так как транспортные колеса занимают значительное место в центральной части рамы и не дают расставить сошники в определенном порядке. Поэтому приходится менять расстояние между сошниками в одном ряду, начиная со второго и до последнего ряда, сохраняя агротехнические требования по значению перекрытия. Расстановку рабочих органов на боковых секциях можно исполнить симметрично относительно к центральной секции.

Для типа 3, когда транспортные колеса установлены вне рамы и находятся в поднятом положении, есть возможность оптимально установить рабочие органы в определенном порядке и последовательности. Например, в шахматном варианте, как приводится в схеме расстановки рабочих органов сеялки «John Deere 1830», где расстояние между сошниками в ряду абсолютно одинаково.

Для типа 4, когда транспортных колес нет, а функции их выполняют пневматические опорно-прикатывающие катки, как приводится в схеме расстановки рабочих органов сеялки «Agrator», расстановку рабочих органов по всем секциям можно произвести оптимально, так как рамы секции абсолютно свободны: в шахматном варианте, где расстояние между рабочими органами в каждом ряду одинаково.

Во всех приведенных типах сеялок расстояние между рядами рабочих органов, на которые устанавливаются заделывающие рабочие органы, будут одинаковыми. Его рассчитывают по имеющимся формулам и корректируют с учетом конструктивных особенностей рамы и рабочих органов сеялки. После анализа схем расстановок рабочих органов определяются тяговые классы тракторов, необходимых для агрегатирования с широкозахватными сеялками, в зависимости от количества секции и ширины захвата, табл. 1.

Таблица 1. Тяговые классы тракторов, необходимых для агрегатирования с широкозахватными сеялками

| Производитель | Модель | Ширина захвата, м | Количество секции | Тяговый класс трактора | Требуемая мощность, л.с |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Агромастер | «Agrator» | 6,6 | 3 | 4 | 180 |
| | | 7,3 | | 5 | 220 |
| | | 8,5 | | | 280 |
| | | 9,8 | | 6 | 330 |
| | | 11 | 360 | | |
| | | 12,2 | 420 | | |
| | | 14,6 | 5 | 7 | 490 |
| | | 16 | | | 550 |

Окончание таблицы 1

| Производитель | Модель | Ширина захвата, м | Количество секции | Тяговый класс трактора | Требуемая мощность, л.с |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| УАТех | «Partner» | 7,5 | 3 | 5 | 230 |
| | | 8,5 | | | 280 |
| Джон Дир | 1830/1835 | 10,4 | 3 | 6 | 350 |
| | | 12,5 | | | 430 |
| | | 15,2 | 5 | 7 | 530 |
| | | 18,6 | | | 650 |
| Моррис | «Morris Maxim II» | 10,36 | 3 | 6 | 350 |
| | | 11,89 | | | 410 |
| | | 14,94 | 5 | 7 | 520 |
| | | 18,29 | | | 640 |

Примечание – составлено автором

Заключение. Из анализа табл. 1 вытекает, что количество секций и тяговый класс трактора зависят от ширины захвата сеялки. Так, в 3-х секционном варианте ширина захвата от 6 до 12,5 м, в 5-ти секционном – от 14,5 до 18,5 м. Причем ширина захвата центральной секции имеет одно значение, вне зависимости от ширины захвата всей сеялки, так как она должна удовлетворять требованиям транспортировки по дорогам общего пользования. А ширина захвата всей сеялки меняется с изменением ширины захвата боковых секций в одинаковом значении. Для сеялок с тремя секциями требуется мощность тракторов 4, 5 и 6 класса, с 5-ю секциями – 7 класса, в зависимости от ширины захвата, и на 1 м ширины захвата приходится примерно от 28 до 35 л.с.

На основании проведенного анализа появляется необходимость произвести расчет по обоснованию количества секций и схемы расстановки лаповых рабочих органов с целью предотвращения забивания растительными остатками пространства между рядами рабочих органов и учета зоны распространения деформации почвы между ними. Также при проектировании широкозахватных сеялок необходимо учитывать особенности почвенно-климатических условия региона, где данная техника планируется применяться.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование выполнялись рамках грантового проекта (217 «Развитие науки», проект AP08856407 – «Разработка широкозахватной сеялки для высева семян и дифференцированного внесения минеральных удобрений в разные заданные глубины») в период 2020-2022 годы).

Список литературы

- Aduov M., Nukusheva S., Kaspakov E., Isenov K., Volodya K. (2019). Analysing the Results Field Tests of an Experimental Seeder with Separate Introduction of Seeds and Fertilizers. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN(P): 2249-6890; ISSN(E):2249-8001. Vol.9.-Issue - Aug2019. – P. 589-598.
- Aduov M.A., Kapov S.N., Nukusheva S.A., Rakhimzhanov M.R. (2019). Components of coulter tractive resistance for subsoil throwing about seeds planting// Life Sci J (ISSN:1097-8135) - 2014;11(5s):67-71]. <http://www.lifesciencesite.com>
- Статья «Разновидность сеялок и их конструктивные особенности» (2018) // Stat'ya «Raznovidnost' seyalok i ikh konstruktivnyye osobennosti». <https://veles-euro.trade/seyalki-osnovnyye-vidy-funktsii-i-konstruktivnyye-osobennosti/>
- Статья «Сеялка – что это, виды, применение» // Stat'ya «Seyalka – chto eto, vidy, primeneniye». <https://krupaik.com.ua/ru/articles/sejalka-chto-eto-vidy-primeneniye>

- Сорокин П., главный инженер ФГБУ «Сибирское МИС». Статья «Сеялка зерновая СЗС-14: незаслуженно забытое». Аналитический научно-производственный журнал «Агротайм», № 2(4) // Sorokin P., glavnyj inzhener FGBU «Sibirskoe MIS». Stat'ya «Sejalka zernovaya SZS-14: nezasluzhenno zabytoe». Analiticheskij nauchno-proizvodstvennyj zhurnal «Agrotajm», № 2(4). <https://agrotime.info/sejalka-zernovaja-szs-14-nezasluzhenno-zab/>
- ФГБУ «Сибирская государственная зональная машиноиспытательная станция» Протокол испытаний № 12-6-2018 (5030242) // FGBU «Sibirskaya gosudarstvennaya zonal'naya mashinoispytatel'naya stanciya» Protokol ispytanij № 12-6-2018 (5030242). <http://sistemamis.ru/protocols/2018/si0618.pdf>
- Aduov M.A., Nukusheva S.A., Kaspakov E.Zh., Isenov K.G., Volodya K., Tulegenov T.K., Uteulov K.T (2020) //The analysis of power expenditure of a wide-cut seeder for the performance of the technological operation// International Scientific Congress Agricultural Machinery ISSN 2535-0277 (P)// Vol. 1/7 – June 2020. – P. 43-45.
- Википедия//Wikipedia.https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0
- Капов С.Н., Адуов М.А., Нукушева С.А. (2014) Модель почвенной среды как объекта механической обработки почвы. Life Sci J 2014; 11 (12 c): 156–161] (ISSN: 1097–8135) // Капов С.Н., Адуов М.А., Nukusheva S.A. Model of soil environment as object of mechanical tillage. Life Sci J 2014;11(12s):156-161] (ISSN:1097-8135). <http://www.lifesciencesite.com>
- Официальный сайт ООО «ПК Агромастер» // Official site of ООО «ПК Агромастер». <https://pk-agromaster.ru/>
- Официальный сайт ЧП «Украинская Аграрная Техника» // Official site of ЧП «Ukrainskaya Agrarnaya Tekhnika». <http://uatech.com.ua/opisanie-kompleksa>
- Официальный сайт компании John Deere // Official site of John Deere. <https://www.deere.ru/ru/%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5-%D0%B8-%D0%BF%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5-%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BB%D0%BA%D0%B8/>
- Проспекты фирм Morris Maxim, JohnDeere, Amazone, Kuhn, Kockerling, MASCHIO-GASPARDO, Horsh // Prospekty firm Morris Maxim, JohnDeere, Amazone, Kuhn, Kockerling, MASCHIO-GASPARDO, Horsh.
- Официальный сайт компании Morris // Official site of Morris. <https://www.morris-industries.com/ru/products/>
- Адуов М.А., Научно-технические основы создания технических средств посева зерновых и минеральных удобрений (на северной территории Казахстана. Дис., - 2008 – Алматы // Aduov M.A., Nauchno-tehnicheskie osnovy sozdaniya tekhnicheskikh sredstv poseva zernovykh i mineral'nykh udobrenij (na severnoj territorii Kazahstana. Dis., - 2008 - Almaty.
- Материалы Международной научно-теор. конф. «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана». – 2020. – Т.1. – Ч. 2. – С.109-112 // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-teor. konf. «Sejfullinskie chteniya – 16: Molodezhnaya nauka novoj formacii – budushchee Kazahstana». – 2020. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 109-112.

Information about authors

Uteulov Kanat Tulekbergenovich – master of agricultural sciences, S.Seifullin Kazakh agricultural research university, Astana, Kazakhstan, E-mail: kanat-uteulov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8906-9204, +7 707 148 20 14

Aduov Mubarak Aduovich – doctor of technical sciences, professor, S.Seifullin Kazakh agricultural research university, Astana, Kazakhstan, E-mail: aduov50@mail.ru

Капов С.Н. – doctor of technical sciences, professor, Stavropol state agrarian university, Stavropol, Russia, E-mail: capov-sn57@mail.ru

Нукушева Сауле Абайдильдиновна – candidate of technical sciences, S.Seifullin Kazakh agricultural research university, Astana, Kazakhstan, E-mail: nukusheva60@mail.ru

Isenov Kazbek Galymtaevich – PhD doctor, S.Seifullin Kazakh agricultural research university, Astana, Kazakhstan, E-mail: isenov-kz@mail.ru



АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ҮЛГІНІ ТАҢУ. КЕСКІНДІ ӨҢДЕУ
РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ
PATTERN RECOGNITION. IMAGE PROCESSING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_107
IRSTI 28.23.15

M.Zh. Ashimgaliyev¹, A.K. Zhumadillayeva¹, Ng. Yin Kwee², L.R. Suleimenova³

¹L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

E-mail: ashimgaliyev.medet@gmail.com

E-mail: ay8222@mail.ru*

²Nanyang Technological University, Singapore

E-mail: mykng@ntu.edu.sg

³D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: Lsuleimenova@edu.ektu.kz

**LEVERAGING COMPUTER VISION IN THE MICROSCOPIC DIAGNOSIS OF SKIN CANCER
THROUGH THE UTILIZATION OF BOTH MANUAL AND AUTOMATED FEATURES**

**ҚОЛМЕН ЖӘНЕ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ФУНКЦИЯЛАРДЫ
ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ТЕРІ ҚАТЕРЛІ ІСІГІНІҢ МИКРОСКОПИЯЛЫҚ ДИАГНОЗЫНДА
КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУДІ ҚОЛДАНУ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В МИКРОСКОПИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКЕ РАКА КОЖИ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РУЧНЫХ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ФУНКЦИЙ**

Abstract. The skin, our body's largest organ, shields us entirely. Among cancers, skin cancer, mainly prompted by sensitivity to sunlight's ultraviolet rays, is particularly fearsome. Melanoma stands out as the most perilous, originating in diverse ways. Detecting skin cancer early proves challenging for patients. Literature suggests the utilization of both manual and automated deep learning features in diagnosing skin cancer through traditional and deep learning methods. This study compares skin cancer diagnosis techniques, focusing on handcrafted and non-handcrafted features. Clinical features like the Menzies method, seven-point detection, asymmetry, border color and diameter, visual textures (GRC), local binary patterns, Gabor filters, random fields of Markov, fractal dimension, and oriental histography are investigated in the detection process. Parameters like the Jacquard index, accuracy, dice efficiency, preciseness, sensitivity, and specificity are assessed on benchmark datasets to compare techniques. The paper concludes by describing publicly available skin cancer datasets and highlighting remaining issues.

Keywords: Cancer, conventional versus deep learning, handcrafted versus non-handcrafted features, health systems, healthcare, skin melanoma.

Аңдатпа. Тері, біздің денеміздің ең үлкен мүшесі, бізді толығымен қорғайды. Қатерлі ісіктердің ішінде тері ісігі әсіресе күн сәулесінің ультракүлгін сәулелеріне сезімталдықпен туындаған қауіпті. Меланома әртүрлі жолдармен пайда болатын аурудың ең қауіпті түрі ретінде ерекшеленеді. Тері ісігін ерте анықтау пациенттер үшін қиынға соғады. Әдебиеттерде тері ісігін диагностикалауда дәстүрлі және терең оқыту әдістерін қолдана отырып, қолмен және автоматтандырылған терең оқыту мүмкіндіктерін пайдалануды ұсынады. Бұл зерттеуде қолмен және автоматтандырылған емдеу әдістеріне назар аудара отырып, тері ісігін диагностикалау әдістерін салыстырады. Анықтау процесі Мензис әдісі, жеті нүктелі анықтау, асимметрия, жиектің түсі мен диаметрі, визуалды текстуралар (GRC), жергілікті екілік үлгілер, Габор сүзгілері, Марковтың кездейсоқ өрістері, фракталдық өлшем және шығыс гистографиясы

сияқты клиникалық белгілерді зерттейді. Джаккар индексі, дәлдік, текше тиімділігі, дәлдік, сезімталдық және ерекшелік сияқты параметрлер әдістерді салыстыру үшін эталондық деректер жиындарында бағаланады. Қағаз тері қатерлі ісігі туралы жалпыға қолжетімді деректер жиынтығын сипаттау және қалған қиындықтарды көрсету арқылы аяқталады.

Түйін сөздер: қатерлі ісік, дәстүрлі және терең оқыту, қолмен және автоматтандырылған функциялар, денсаулық сақтау жүйесі, денсаулық сақтау, тері меланомасы.

Аннотация. Кожа, самый большой орган нашего тела, полностью нас защищает. Среди раковых заболеваний особенно опасен рак кожи, вызываемый главным образом чувствительностью к ультрафиолетовым лучам солнечного света. Меланома выделяется как наиболее опасная форма заболевания, возникающая по-разному. Раннее обнаружение рака кожи оказывается сложной задачей для пациентов. В литературе предлагается использовать как ручные, так и автоматизированные функции глубокого обучения при диагностике рака кожи с помощью традиционных методов и методов глубокого обучения. В этом исследовании сравниваются методы диагностики рака кожи, уделяя особое внимание ручным и неручным методам лечения. В процессе обнаружения исследуются такие клинические особенности, как метод Мензиса, семиточечное обнаружение, асимметрия, цвет и диаметр границы, визуальные текстуры (GRC), локальные бинарные паттерны, фильтры Габора, случайные поля Маркова, фрактальная размерность и восточная гистография. Такие параметры, как индекс Жаккарда, точность, эффективность кубиков, прецизионность, чувствительность и специфичность, оцениваются на эталонных наборах данных для сравнения методов. В заключение в документе описываются общедоступные наборы данных о раке кожи и освещаются оставшиеся проблемы.

Ключевые слова: рак, традиционное и глубокое обучение, ручные и неручные функции, системы здравоохранения, здравоохранение, меланома кожи.

Introduction. The prevalent form of cancer in humans is skin cancer, exhibiting a significant global rise. It can manifest anywhere on the skin and, if not treated promptly, often results in fatality. In 2012, global statistics reported 55,000 deaths among 232,000 individuals. The American Cancer Society disclosed that in 2015, 73,870 people were diagnosed with new melanomas, with 9,940 succumbing to melanoma skin cancer (Afza et al., 2019), (Al-Ameen et al., 2015). Common skin afflictions encompass acne, wrinkles, psoriasis, melanoma, and alopecia, with incurable melanoma being the most perilous, often culminating in death. The evolution of melanoma sometimes initiates from changes in size, itchiness, and color of a lesion. Early detection can elevate the survival rate to 100%, contrasting with a 59% survival rate for late detection, where deep melanoma exceeds three millimeters. Though non-melanomas are more prevalent, melanoma accounts for the majority of skin cancer deaths. Timely detection of malignant melanoma in its early stages significantly reduces mortality and morbidity (Khan, Javed, et al., 2019). Detecting malignant melanoma early could also lead to substantial cost savings compared to treating the disease at advanced stages. Melanoma's global incidence is rapidly increasing by 6% annually, currently standing at 15 per 0.1 million, and this trend persists (Javed, 2019). Skin cancer ABCD's (asymmetry, border, color, and diameter) are clinical features for pigmented lesions, and various image analysis methods have been devised to measure these features. Chemiluminescence-microscopy (ELM) has notably advanced early melanoma detection, with dermatologists utilizing ELM criteria to categorize pigmented skin lesions (Khan, Lali, et al., 2019), (Saba, Khan, et al., 2019).

Numerous research studies have demonstrated that employing accurate melanoma detection procedures can significantly improve the diagnosis ratio, showing an increase from 5% to 30% compared to naked-eye examinations (Premaladha & Ravichandran, 2016a).

Melanoma treatment typically involves radiotherapy and chemotherapy, similar to the approaches employed for critical conditions in breast, brain, lung, blood, and other types of cancers (Amin, Sharif, Raza, et al., 2020). Both radiotherapy and chemotherapy are strenuous processes. Detecting melanoma at an early stage becomes crucial to mitigate the need for these arduous treatments and achieve successful therapeutic outcomes.

Ongoing biomedical imaging research is characterized by the introduction of innovative algorithms, and their outcomes are systematically compared using established benchmark datasets in the literature. The recently developed computer-aided diagnosis systems demonstrate increased intelligence, successfully tackling various challenges, including precise cancer segmentation and treatment. Consequently, evaluating the performance of these systems poses a challenge, making it challenging to draw definitive conclusions (Saba, Sameh, et al., 2019).

Materials and methods of research. In many computer-aided diagnosis systems, effectively detecting or distinguishing lesions from normal skin remains a challenge. Dermoscopy, a procedure involving digital image acquisition for high-quality data, is commonly used. However, various undesired details or artifacts may be present, including interlaced-video field misalignment, poor contrast, specular reflections, ruler markings, air bubbles, and hair. These unwanted elements diminish image quality and pose a hindrance to accurate skin lesion detection, particularly when the lesion closely resembles the surrounding skin.

Hence, a preprocessing step is introduced to enhance image quality by eliminating unwanted details like noise, including bubbles and hairs. If the preprocessing steps are not executed appropriately, there is a substantial risk of inaccurate segmentation and cancer recognition (Ejaz et al., 2018a).

Typically, dermoscopy images exhibit two distinct types of artifacts—firstly, acquisition artifacts like black frames, ink markings, rulers, reflections, and air bubbles. Secondly, cutaneous artifacts include elements such as hairs, vessels, blood, brain, and skin lines (Abbas et al., 2018). These unwanted details or artifacts disrupt the accurate skin lesion segmentation process, introducing inappropriate asymmetry, shape, color, and texture features that may lead to misinterpretation of the lesion features (Adeel et al., 2020), (Al-Badri et al., 2016a).

Various techniques are employed for image enhancement to eliminate artifacts or unwanted details in dermoscopy images. Methods like the dull Razor are applied to remove hairs from dermoscopy images. Additionally, various filters, including the adaptive Wiener filter, mean filter, Gaussian filter, median filter, and adaptive median filter, are utilized to eliminate different types of noise such as speckle noise, Poisson noise, salt-and-pepper noise, and Gaussian noise (Hussain et al., 2024).

Alternative techniques include edge enhancement, contrast enhancement, and illumination correction. To enhance contrast, various methods such as homomorphic filtering, FFT, histogram equalization, and histogram stretching can be applied (Iftikhar et al., 2017a).

Handcrafted features for traditional machine learning-based classification:

Classification is the procedure of determining the presence of a disease and identifying its type, where features play a pivotal role. An excess of features can bewilder classifiers, while too few features may result in misclassification. Occasionally, two or three discriminative features take precedence in the entire process (Khan, Lali, et al., 2019b). Feature extraction involves converting an image into a set of features, broadly categorized as handcrafted and non-handcrafted features. The former is utilized in conjunction with traditional machine learning techniques, while the latter is employed in deep learning applications (Javed, Saba, et al., 2019).

The term "handcrafted" refers to manually devised and extracted features utilized in the training and testing of traditional machine learning techniques. Examples include shape-based features, histogram orientation gradient (Javed, Rahim, et al., 2019), texture-based Gabor wavelet transformation, local binary patterns, and statistical and geometrical features. Subsequently, optimal features are chosen through methods such as principal component analysis, genetic algorithms, and entropy-based techniques. Moreover, function fusion procedures are employed to enhance classification accuracy (Al-Badri et al., 2016).

Color features. Termed chromatic features, these attributes find extensive use in biomedical image analysis, particularly in distinguishing healthy skin color from cancerous skin. Iftikhar et al. (2017b) underscored the significance of color in skin lesion identification. The Harris technique is employed, incorporating color and gray sampling in their methodology. A comparison between color-SIFT and SIFT features revealed that color-SIFT features exhibit superior performance in comparison to SIFT.

Clinical features. Various clinical features are derived from dermoscopic images for melanoma detection, including:

a. *Seven-point checklist.* In skin cancer classification, major and minor criteria play distinct roles. There are three major criteria, each assigned a score value of 2, while four points are allocated for the minor criteria, each with a score value of 1. If the total score reaches at least 3, the classification outcome is deemed malignant melanoma (Abbas et al., 2019). Table 1 illustrates that the presence of a blue-white veil, a standard pigmented network, atypical vascular patterns, and specific minor criteria such as abnormal streaks, abnormal pigmentation, irregular dots/globules, and regression structures are pivotal in diagnosing skin cancer.

b. *ABCD rule.* The ABCD rule in dermoscopy was the second algorithm introduced after pattern analysis (Ejaz et al., 2018). A multivariate study of 31 dermoscopic parameters led to the identification of four criteria as significant factors for diagnosing melanoma.

Table 1. Seven-point checklist method

| S.no | Major criteria | Score | S.no | Minor criteria | Score |
|------|-------------------------------|-------|------|-------------------------|-------|
| 1 | Atypical pigmentation network | 2 | 4 | Irregular streaks | 1 |
| 2 | Blue-white veil | 2 | 5 | Irregular pigmentation | 1 |
| 3 | Atypical vascular pattern | 2 | 6 | Irregular dots/globules | 1 |

Note – compiled by the author based on (Saba, 2021)

The ABCD rule for feature extraction is computationally less expensive compared to other scoring schemes like Menzies and the 7-point checklist. Additionally, it exhibits the highest consistency for clinical diagnosis. Table 2 details the ABCD rules and their corresponding results.

Table 2. Asymmetry, border color and diameter (ABCD) rules and result

| Property | Description | Factor | Scoring |
|------------|---|--------|---------|
| Asymmetry | Structure, colors and contour | 1.3 | 0-2 |
| Border | Eight segments | 0.1 | 0-8 |
| Color | Light-brown/tan, blue-gray, black-red, white and dark-brown | 0.5 | 1-6 |
| Diameter | Larger than 6mm | 0.5 | 1-5 |
| Categories | Total dermoscopy score | | |
| Benign | Below from 4.76 | | |
| Suspicious | Between 4.76 and 5.45 | | |
| Malignant | Larger than 5 | | |

Note – compiled by the author based on (Johr, 2002)

a. *Menzies scoring features.* Introduced in 1996 and further developed in 2002, the Menzies scoring system was initially launched (Ejaz et al., 2019). This system relies on both negative features (symmetrical design, single color) and positive features (white-blue mask, several brown dots, pseudopod, radial broadcasting, scar-like depigmentation, several

colors (5-6), many blue/grey dots, spent network). For a melanoma diagnosis, the presence of one or more positive characteristics in the image is required, while for non-melanoma, the absence of harmful characteristics is necessary, as illustrated in Table 3. Both melanoma and non-melanoma have a limit to the existence of one or more beneficial features. Negative features should be absent, as indicated in Table 3.

Table 3. Menzies scoring features list

| Negative features for non-melanoma | Positive features for melanoma |
|--|---|
| Symmetrical pattern | Multiple (5-6) colors |
| Signal color | Blue-white veil Radial streaming Multiple blue/grey dots Multiple brown dots Broadened network Pseudopods Scar-like depigmentation |
| <i>Note – compiled by the author based on (Saba, 2021)</i> | |

Traditional machine learning. The inception of computer-aided cancer diagnosis through bioimage analysis began a few decades ago, aiming to assist healthcare practitioners and paramedical staff in the clinical decision-making process (Saba et al., 2018).

Ramya et al. (2015) employed an adaptive histogram equalization technique and a Wiener filter for preprocessing, coupled with an active contour segmentation mechanism. GLCM-based features were extracted, and an SVM binary classifier was utilized to classify skin cancer as malignant or benign. The experimental setup involved extracting images using a digital camera.

In another approach, Leguizamon Correa et al. (2015) developed a technique to differentiate skin lesions as malignant or benign using dermoscopic images. Their method encompassed specific modules: preprocessing, lesion segmentation, lesion feature extraction, and classification. In the preprocessing step, unwanted details such as hairs were removed, and segmentation aimed to identify the region of interest (ROI) for further processing. For feature extraction, the ABCD rule and an SVM classifier were employed for classification purposes. Experimental results, based on a dataset of 104 dermoscopy images, revealed a precision of 83.33%, 95% sensitivity, and an accuracy of 90.63%. However, it's noted that the presented system did not achieve promising results. Various feature extraction and classification methods are illustrated in Figure 1.

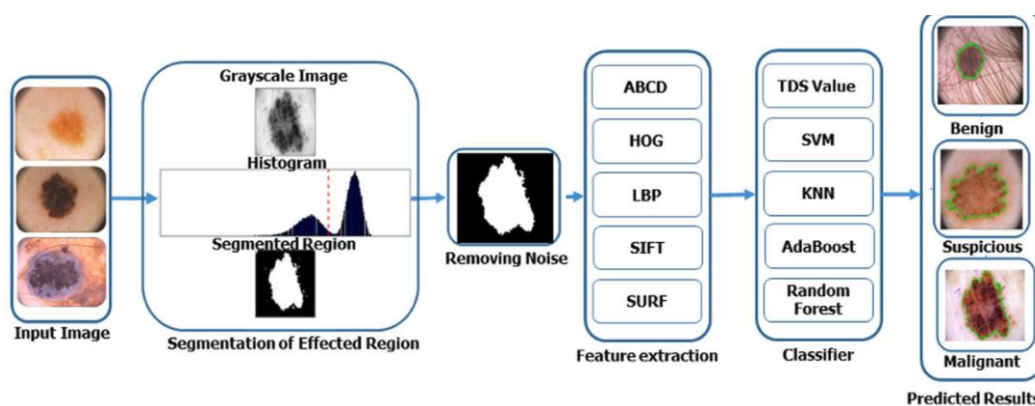


Figure1. Conventional ML framework for skin cancer classification

Note – compiled by the author based on (Saba, 2021)

Premaladha & Ravichandran (2016) proposed an effective method for melanoma classification and prediction within a Computer-Aided Diagnosis (CAD) framework. They utilized a Median filter and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization approaches to enhance image consistency. Normalized-Otsu was employed to mitigate variable illumination and facilitate skin lesion segmentation. Fifteen features were extracted from the segmented images and fed into the hybrid classifier, which integrates neural networks centered on a hybrid AdaBoost-SVM and deep learning. The validation and testing of approximately 992 images belonging to benign and malignant lesions achieved a classification precision of 93%. However, it's noted that their hybrid strategy entails a longer time consumption during the training and testing stages.

Taufiq et al. (2017) introduced a mobile-based healthcare system for real-time skin cancer detection. Image processing and computer vision methods were utilized, incorporating a Gaussian filter for noise removal and the Grab Cut method for image segmentation. Various features, including eccentricity, perimeter, and area, were extracted from the segmented image and fed into an SVM classifier for classification. The system achieved specificity and sensitivity rates of 75% and 80%, respectively, but further improvement is deemed necessary.

Dalila et al. (2017) proposed an automatic approach considering three types of characteristics to describe malignant lesions, employing an Ant colony-based segmentation algorithm. The selected characteristics included geometric properties, texture, and relative colors, with K-nearest neighbor (KNN) and Artificial Neural Network (ANN) classifiers. Experiments on the ISIC skin cancer dataset resulted in an accuracy of 85.22% with KNN and 93.60% with ANN.

Hamzah et al. (2018) detected melanoma-type skin cancer using a combination of Canny edge detection and watershed marker control techniques on digital images. The ABCD method was utilized to extract features from the digital images acquired by a digital camera. Experiments conducted on the PH2 dataset reported an accuracy of 9/10 for melanoma and 8/10 for non-melanoma.

Akram et al. (2018) presented their contribution in three stages. In the first stage, they utilized multilevel contrast stretching algorithms for foreground separation from the background. The second stage involved the use of a threshold-based method for selecting texture-feature analysis, central-distance, boundary-connections, and related labels. In the third stage, they introduced enhanced dimensionality reduction and feature extraction criteria that fused conventional and recent feature extraction methods. Experiments on the ISBI dataset yielded results with 99.2% accuracy, 99.2% sensitivity, 99.4% specificity, 99.4% precision, 0.6 NPV, 0.8 FNR, and 0.005 FPR achieved on M-SVM.

Murugan et al. (2019) implemented a watershed segmentation technique to segment interesting areas from the image. Subsequently, various features such as GLCM, ABCD rule, and shapes were extracted from the segmented image. These extracted features were then classified using SVM, KNN, and Random Forest classifiers. In the classification, the SVM classifier demonstrated the best result for skin cancer detection. Experiments on the ISIC dataset reported an accuracy of 89.43%, sensitivity of 91.15%, and specificity of 87.71%. However, predicting the result in a real-time scenario is considered challenging.

Recently, Balaji et al. (2020) introduced a dynamic graph cut algorithm and a Naive Bayes classifier for the segmentation and classification of skin diseases using the ISIC 2017 dataset. They examined three types of cancers: keratosis, melanoma, and benign, reporting classification accuracies of 92.9%, 91.2%, and 94.3%, respectively.

Qin et al. (2020) employed a Generative Adversarial Network (GAN) for skin lesion classification. They enhanced the GAN using the data augmentation concept. Experimental results reported an average precision of 96.6%, specificity of 74.3%, sensitivity of 83.2%, and an accuracy of 95.2%.

Upon reviewing the literature, it is evident that numerous approaches are being introduced for early-stage skin cancer diagnosis using traditional machine learning. However, traditional machine learning techniques face two main limitations. Firstly, they require manual feature extraction, and secondly, they may not yield fruitful results for large datasets (Noman et al., 2018). Table 4 provides comparisons of conventional machine learning techniques using handcrafted features for skin cancer diagnosis.

Table 4. Conventional machine learning techniques using handcrafted features for skin cancer diagnosis

| Reference | Approach | Data sets | Results (%) |
|-----------------------|--|-------------------|---|
| Murugan et al. (2019) | Features are extracted using shape, GLCM and ABCD rule. ISIC For classification KNN, random Forest and SVM classifiers are used. | ISIC | 89.43 (accuracy) 91.15 (sensitivity) 87.71 (specificity) |
| Afifi et al. (2020) | FPGA platform, monolithic SVM HLS IP and dynamic cascade SVM | Clinical data set | 97.9 (accuracy) |
| Hamzah et al. (2018) | Watershed marker control canny edge detection methods and the features are extracted using ABCD rules | PH2 | With melanoma 9/10 accuracy And with non-melanoma 8/10 accuracy |
| Akram et al. (2018) | From a segmented image, different features are extracted that is, color, shape, and clinical. The extracted features are combined to employ serial methods and further reduce it by using NCA method. Finally, for classification M-SVM is used. | SBI 2016 | 99.2 (accuracy) 99.2 (sensitivity) 99.4 (specificity) 99.4 (precision) 0.6 (NPV) 0.8 (FNR) 0.005 (FPR) is achieved on M-SVM |
| Bakheet (2017) | Features are extracted by using HoG feature descriptor and SVM is used for classification | Atlas | 97.32 (accuracy) 98.21 (sensitivity) 96.43 (specificity) |
| Wahba et al. (2017) | The fusion of gray-level-difference and bi-dimensional-empirical-mode-decomposition methods are used for features extraction and quadratic-SVM | ISIC | 100 (accuracy) 100 (sensitivity) 100 (specificity) 1 (F-measure) |
| Taufiq et al. (2017) | Hair removing is performed by Gaussian filter, for region-of-interest grab cut segmentation method is used, features like eccentricity, area and perimeter are extracted and SVM is used for classification | ISIC | With melanoma 80 (accuracy) And with non-melanoma 75 (accuracy) |
| Dalila et al. (2017) | Relative colors, texture and geometrical features are extracted and used two classifiers KNN and ANN | ISIC | 85.22 (accuracy) using KNN extracted And 93.60 (accuracy) using ANN |

Non-handcrafted features for deep learning-based classification

Presently, researchers have explored the potential of Artificial Intelligence (AI) to improve or supplement existing screening methods. Convolutional Neural Networks (CNNs) are commonly utilized in biomedical image analysis and cancer detection. Furthermore, approaches based on Convolutional Neural Networks (CNNs) have demonstrated an effective skin cancer detection process (Mittal et al., 2020), (Ramzan et al., 2020). The key advantage of CNN-based

approaches lies in their automatic feature extraction and training capabilities with automatic feedback. Figure 2 provides a visual representation of the CNN deep learning model.

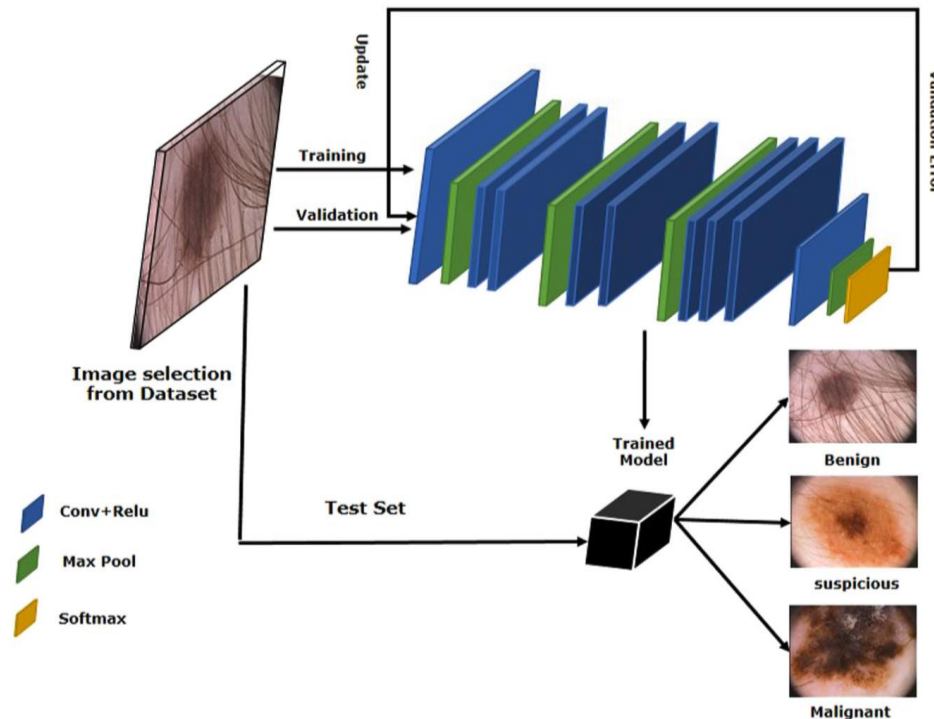


Figure 2. CNN architecture for skin cancer classification

Note – compiled by the author based on (Saba, 2021)

Majtner, Yildirim Yayilgan, et al. (2016) extracted Adhoc handcrafted features from images and integrated them with an in-depth learning method responsible for further learned functions. They subsequently classified the entire feature set into malignant or benign lesions using a deep learning strategy, reporting an accuracy of 82.6%, sensitivity of 53.3%, specificity of 89.8%, and an area under the curve of 78% on the ISIC dataset. However, the specificity and sensitivity rates seem relatively low.

Rodrigo-Nicolás et al. (2018) utilized 19,398 images to develop a Computer-Aided Diagnosis (CAD) system, achieving an average specificity and sensitivity of 81.3% and 85.1%, respectively. Various approaches have been proposed recently to compare the performance of the Convolutional Neural Network (CNN) classifier with dermatologist performance. Brinker et al. (2019) classified malignant skin cancer using CNN with 12,378 dermoscopic images on the publicly available ISIC dataset, achieving 92.8% sensitivity and 61.1% specificity. However, the model's training time and the requirement for a powerful GPU make the system less feasible.

Recently, Saba, Sameh, et al. (2019) introduced an automatic skin lesion diagnosis solution using a Deep Convolutional Neural Network (DCNN). Their approach involves three main steps: contrast enhancement, lesion boundary extraction with CNN, and features extraction with the Inception V3 model. Experiments on ISBI 2016, ISBI 2017, and PH2 datasets achieved accuracies of 95.1%, 94.8%, and 98.4%, respectively. Table 5 provides comparisons of deep learning techniques using non-handcrafted features for skin cancer diagnosis.

Result and discussion. Benchmark datasets play a crucial role in conducting experiments and comparing results in the state-of-the-art. Therefore, this section introduces widely used standard datasets for skin cancer experiments and performance metrics to evaluate techniques reported in the current state of the art (Amin et al., 2019).

- **ISIC Dataset:** The ISIC dataset is a product of the ISIC Melanoma Project and is freely available online for research purposes. It comprises approximately 3,000 dermoscopic high-resolution images for training/testing, accompanied by human-validated metadata. However, the size of the images is not fixed, as different visual sensors were employed in the procurement process (Amin et al., 2018).

- **Asan Dataset:** The Asan dataset originates from the Dermatology Department at the Asan Medical Center. Spanning from 2000 through 2016, a total of 598,854 clinical photographs were captured. The Asan dataset comprises 12 forms of skin diseases specifically selected for its establishment.

- **ISBI 2016 Dataset:** The ISBI 2016 skin lesion dataset comprises 1,279 RGB images, with 273 classified as benign and 1,006 as melanomas. This challenge involves various tasks, including segmentation, identification of characteristics, and grouping lesions into the required categories. The dataset allocates 900 images for the training set and 379 images for the testing process (Amin et al., 2018).

- **ISBI 2017 Dataset:** The ISBI 2017 challenge incorporates 2,750 DY RGB images with a resolution ranging from 296 to 1,456. Among these, 2,233 images are classified as benign, while 517 images are categorized as melanomas. For the theoretical assessment, the preparation phase utilizes 2,000 images, with the remaining 750 images reserved for evaluating the proposed systems (Amin, Sharif, Yasmin, et al., 2020).

- **UMCG Dataset:** The UMCG dataset comprises 170 nondermoscopic images, including 70 melanoma and 100 benign images sourced from the University Medical Center Groningen (UMCG) Department of Dermatology's digital image collection (Nasr Esfahani et al., 2016a).

Table 5. Deep learning techniques using non-handcrafted features for skin cancer diagnosis

| Reference | Methodology | Data set | Results (%) |
|----------------------------|--|-------------------------------|---|
| Kadampur & Al Riyae (2020) | Convolutional Neural Network (CNN) | HAM10000 | 99.77 (AUC) |
| Brinker et al. (2019) | Convolutional Neural Network (CNN) | ISIC | 92.8 (sensitivity) 61.1 (specificity) |
| Saba, Sameh, et al. (2019) | HSV color transformation and FILpF for image enhancement, the boundary is extracted using XOR and color CNN method, transfer learning using inception V3 and fusion using hamming distance (HD) approach | ISBI 2016 ISBI 2017 PH2 | 95.1 (accuracy) 94.8 (accuracy) 98.4 (accuracy) |
| Sahu et al. (2018) | Deep Convolution Neural Network (DCNN) | ISIC | 82 (melanoma) 68 (basal cell carcinoma) 83 (intraepithelial carcinoma) 30 (squamous cell carcinoma) 65.7 (overall accuracy) |

End of table 5

| | | | |
|----------------------------------|---|---|---|
| Han et al. (2018) | Finetuned ResNet-152 model | Asan data set, MED-NODE data set, and atlas site images | 86.4 ± 3.5 (sensitivity) 85.5 ± 3.2 (specificity) 91 ± 0.01 (AUC) |
| Rundo et al. (2018) | SC-Cellular Neural Networks are used for segmentation, ABCDE features are extracted and Stacked Deep Autoencoder as classifiers | PH2 | 98 (sensitivity) 98 (specificity) |
| Ünver & Ayan (2019) | Data augmentation and CNN model are used for feature extraction and classification | ISIC | 81 (accuracy) 0.41 (loss) |
| | Convolution Neural Network (CNN) | Clinical images | 72.1 (accuracy) 91 (AUROC) |
| Conoci et al. (2017) | SC-Cellular Neural Networks are used for segmentation and preprocessing, ABCDE features are extracted, and pre-trained Levenberg Marquardt Neural Network are used for decision | PH2 | 97 (sensitivity) 95 (specificity) |
| Nasr Esfahani et al. (2016) | Pre-trained Convolutional neural network (CNN) | UMCG | 81 (accuracy) 81 (sensitivity) 80 (specificity) 75 (PPV) 86 (NPV) |
| Xie et al. (2017) | A neural network ensemble model employed using lesion extraction, color, texture, border features | ISIC | 94.17 (accuracy) 95.00 (sensitivity) 93.75 (specificity) |
| Majtner, Lidayova, et al. (2016) | Deep learning method combined with handcrafted RSurf features and local binary patterns | ISIC | 82.6 (accuracy) 53.3 (sensitivity) 89.8 (specificity) 78.0 (AUC) |

Performance metrics. Comparing results in the state of the art is challenging due to variations in datasets, experimental setups, and methodologies employed by researchers (Afza et al., 2019). Nonetheless, researchers commonly utilize the following metrics to evaluate techniques for skin cancer diagnosis and to facilitate model comparisons:

$$\text{Sensitivity } SE = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{Specificity } SP = \frac{TN}{TN + FP}$$

$$\text{Accuracy } ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN}$$

$$\text{Precision } PREC = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{Positive Predictive Value (PPV) } PPV = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{Negative Predictive Value (NPV) } NPV = \frac{TN}{TN + FN}$$

$$\text{Dice coefficient} = \frac{2 \cdot TP}{2 \cdot TP + FN + FP}$$

$$\text{Jaccard index } JA = \frac{TP}{TP + FN + FP}$$

Conclusion. The early detection of cancer growth is pivotal for effective classification and treatment, potentially saving lives. Trained computerized systems offer the capability to autonomously identify cancer from a vast array of medical images, eliminating the need for human intervention. This article provides a comprehensive comparison of the automated skin cancer diagnosis process, employing both handcrafted and non-handcrafted features with traditional machine learning and deep learning methods. Various imaging modalities reported in the literature are thoroughly analyzed and compared using benchmark datasets. However, challenges arise in the image acquisition process due to issues such as poor contrast, inconsistent lighting, and unavoidable noise. Moreover, the efficiency of reported techniques is compromised by variations in aspect, structure, volume, and location of the region of interest. This review encompasses a four-step approach for skin cancer detection, incorporating both conventional and deep learning models.

Another significant challenge lies in comparing skin lesion classification approaches, as individual works differ in the dataset utilized, the scale of training/test data, and infrastructure. To address this issue, the ISIC Melanoma Project has been instrumental since 2016, establishing a freely available dermatoscopic skin lesion image database to serve as a benchmark for education and research. The project also introduces an annual competition that focuses on solving a specifically identified issue. Engaging in further study that contrasts itself with this benchmark to achieve a higher rating of procedures in the state of the science would be beneficial.

A significant challenge in this research area is the establishment of extensive public image collections that accurately represent the entire global population. The predominant skin lesions in the ISIC dataset mainly come from light-skinned individuals, predominantly from Western populations. Simultaneously, for CNNs to adeptly generalize and provide accurate classification for dark-skinned individuals, they need exposure to a sufficient number of images from individuals of diverse skin tones, including those from the East. This crucial diversity in the training data is essential to enable the network to effectively learn and summarize features related to dark skin tones.

This research serves as a valuable resource for new researchers, aiding them in identifying existing gaps and limitations that require further improvement within this research area. Additionally, the study highlights specific gaps that warrant attention from future researchers. The brief discussion on various datasets, their public availability, and characteristics will assist new researchers in selecting the most suitable dataset for their experiments. Furthermore, the inclusion of clinical details such as age, gender, color, skin texture, and anatomical location as inputs for classifiers is recommended to enhance accuracy. This additional data proves advantageous for dermatologists in their decision-making processes, making it a crucial consideration for future work in this field.

Conflicts of Interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements. The research data was sponsored by the Science Committee of the Minister of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. of the research fund AP14869848 Software development and test suite preparation in Competitive Programming)

References

- Abbas, N., Saba, T., Mohamad, D., Rehman, A., Almazayad, A., & Al-Ghamdi, J. (2018). Machine aided malaria parasitemia detection in Giemsa-stained thin blood smears. *Neural Computing and Applications*, 29. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2474-6>
- Abbas, N., Saba, T., Rehman, A., Mehmood, Z., Javaid, N., Tahir, M., Khan, N. U., Ahmed, K. T., & Shah, R. (2019). Plasmodium species aware based quantification of malaria parasitemia in light microscopy thin blood smear. *Microscopy Research and Technique*, 82(7), 1198-1214. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jemt.23269>

- Adeel, A., Khan, M., Akram, T., Sharif, A., Yasmin, M., Saba, T., & Javed, K. (2020). Entropy Controlled Deep Features Selection Framework for Grape Leaf Diseases Recognition. *Expert Systems*, 39. <https://doi.org/10.1111/exsy.12569>
- Affifi, S., GholamHosseini, H., & Sinha, R. (2020). Dynamic hardware system for cascade SVM classification of melanoma. *Neural Computing and Applications*, 32(6), 1777–1788. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3656-1>
- Afza, F., Khan, M. A., Sharif, M., & Rehman, A. (2019). Microscopic skin laceration segmentation and classification: A framework of statistical normal distribution and optimal feature selection. *Microscopy Research and Technique*, 82(9), 1471-1488. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jemt.23301>
- Akram, T., Khan, M., Sharif, M., & Mussarat, Y. (2018). Skin lesion segmentation and recognition using multichannel saliency estimation and M-SVM on selected serially fused features. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 15. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-1051-5>
- Al-Ameen, Z., Sulong, G., Rehman, A., Al-Dhelaan, A., Saba, T., & Al-Rodhaan, M. (2015). An innovative technique for contrast enhancement of computed tomography images using normalized gamma-corrected contrast-limited adaptive histogram equalization. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*.
- Al-Badri, A., Alkawaz, M., Saba, T., Rehman, A., & Alghamdi, J. (2016a). Automated nuclei segmentation of malignant using level sets. *Microscopy Research and Technique*, 79, 1-5. <https://doi.org/10.1002/jemt.22733>
- Al-Badri, A., Alkawaz, M., Saba, T., Rehman, A., & Alghamdi, J. (2016b). Automated nuclei segmentation of malignant using level sets. *Microscopy Research and Technique*, 79, 1-5. <https://doi.org/10.1002/jemt.22733>
- Amin, J., Sharif, M., Raza, M., Saba, T., & Rehman, A. (2019). Brain Tumor Classification: Feature Fusion. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCISci.2019.8716449>
- Amin, J., Sharif, M., Raza, M., Saba, T., Sial, R., & Shad, S. A. (2020). Brain tumor detection: a long short-term memory (LSTM)-based learning model. *Neural Computing and Applications*, 32(20), 15965–15973. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04650-7>
- Amin, J., Sharif, M., Rehman, A., Raza, M., & Mufti, M. R. (2018). Diabetic retinopathy detection and classification using hybrid feature set. *Microscopy Research and Technique*, 81(9), 990–996. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jemt.23063>
- Amin, J., Sharif, M., Yasmin, M., Saba, T., & Raza, M. (2020). Use of machine intelligence to conduct analysis of human brain data for detection of abnormalities in its cognitive functions. *Multimedia Tools Appl.*, 79(15–16), 10955-10973. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7324-y>
- Bakheet, S. (2017). An SVM Framework for Malignant Melanoma Detection Based on Optimized HOG Features. *Computation*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/computation5010004>
- Balaji, V. R., Suganthi, S. T., Rajadevi, R., Krishna Kumar, V., Saravana Balaji, B., & Pandiyan, S. (2020). Skin disease detection and segmentation using dynamic graph cut algorithm and classification through Naive Bayes classifier. *Measurement*, 163, 107922. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107922>
- Brinker, T. J., Hekler, A., Enk, A. H., Klode, J., Hauschild, A., Berking, C., Schilling, B., Haferkamp, S., Schadendorf, D., Fröhling, S., Utikal, J. S., von Kalle, C., Ludwig-Peitsch, W., Sirokay, J., Heinzerling, L., Albrecht, M., Baratella, K., Bischof, L., Chorti, E., ... Schrüfer, P. (2019). A convolutional neural network trained with dermoscopic images performed on par with 145 dermatologists in a clinical melanoma image classification task. *European Journal of Cancer*, 111, 148-154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejca.2019.02.005>
- Conoci, S., Rundo, F., Petralta, S., & Battiato, S. (2017). Advanced skin lesion discrimination pipeline for early melanoma cancer diagnosis towards PoC devices. 2017 European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), 1-4. <https://doi.org/10.1109/ECCTD.2017.8093310>
- Dalila, F., Ameer, Z., Kasmi, R., & Cherifi, H. (2017). Segmentation and Classification of Melanoma and Benign Skin Lesions. *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.04.084>
- Ejaz ch, K., Rahim, M., Bajwa, U., Rana, N., & Rehman, A. (2019). An Unsupervised Learning with Feature Approach for Brain Tumor Segmentation Using Magnetic Resonance Imaging. 1–7. <https://doi.org/10.1145/3314367.3314384>
- Ejaz, K., Rahim, M.S. M., Rehman, A., Chaudhry, H., Saba, T., Ejaz, A., & Ej, C. F. (2018a). Segmentation Method for Pathological Brain Tumor and Accurate Detection using MRI. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(8). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090851>
- Ejaz, K., Rahim, M.S. M., Rehman, A., Chaudhry, H., Saba, T., Ejaz, A., & Ej, C.F. (2018b). Segmentation Method for Pathological Brain Tumor and Accurate Detection using MRI. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(8). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090851>
- Hamzah, N., Asli, M. S., & Lee, R. (2018). Skin cancer image detection using watershed marker-controlled and canny edge detection techniques. *Transactions on Science and Technology*, 5(1), 1-4.
- Han, S.S., Kim, M.S., Lim, W., Park, G.H., Park, I., & Chang, S.E. (2018). Classification of the Clinical Images for Benign and Malignant Cutaneous Tumors Using a Deep Learning Algorithm. *Journal of Investigative Dermatology*, 138(7), 1529-1538. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.01.028>

- Hussain, N., Khan, M.A., Sharif, M., Khan, S.A., Albeshar, A.A., Saba, T., & Armaghan, A. (2024). A deep neural network and classical features based scheme for objects recognition: an application for machine inspection. *Multimedia Tools and Applications*, 83(5), 14935–14957. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-08852-3>
- Iftikhar, S., Fatima, K., Fatima, K., Rehman, A., Almazyad, A., & Saba, T. (2017a). An evolution based hybrid approach for heart diseases classification and associated risk factors identification. *Biomedical Research (India)*, 28, 3451-3455.
- Iftikhar, S., Fatima, K., Fatima, K., Rehman, A., Almazyad, A., & Saba, T. (2017b). An evolution based hybrid approach for heart diseases classification and associated risk factors identification. *Biomedical Research (India)*, 28, 3451-3455.
- Javed, R. (2019). An Improved Framework by Mapping Salient Features for Skin Lesion Detection and Classification using the Optimized Hybrid Features. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8, 95–101. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/1581.62019>
- Javed, R., Rahim, M.S.M., Saba, T., & Rehman, A. (2019). A comparative study of features selection for skin lesion detection from dermoscopic images. *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, 9(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s13721-019-0209-1>
- Javed, R., Saba, T., Shafry, M., & Rahim, M. (2019). An Intelligent Saliency Segmentation Technique and Classification of Low Contrast Skin Lesion Dermoscopic Images Based on Histogram Decision. 164–169. <https://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00039>
- Johr, R. (2002). Dermoscopy: Alternative melanocytic algorithms – The ABCD rule of dermatoscopy, Menzies scoring method, and 7-point checklist. *Clinics in Dermatology*, 20, 240–247. [https://doi.org/10.1016/S0738-081X\(02\)00236-5](https://doi.org/10.1016/S0738-081X(02)00236-5)
- Kadampur, M.A., & Al Riyae, S. (2020). Skin cancer detection: Applying a deep learning based model driven architecture in the cloud for classifying dermal cell images. *Informatics in Medicine Unlocked*, 18, 100282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.imu.2019.100282>
- Khan, M.A., Javed, M.Y., Sharif, M., Saba, T., & Rehman, A. (2019). Multi-Model Deep Neural Network based Features Extraction and Optimal Selection Approach for Skin Lesion Classification. 2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCISci.2019.8716400>
- Khan, M.A., Lali, I.U., Rehman, A., Ishaq, M., Sharif, M., Saba, T., Zahoor, S., & Akram, T. (2019a). Brain tumor detection and classification: A framework of marker-based watershed algorithm and multilevel priority features selection. *Microscopy Research and Technique*, 82(6), 909–922. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jemt.23238>
- Khan, M.A., Lali, I.U., Rehman, A., Ishaq, M., Sharif, M., Saba, T., Zahoor, S., & Akram, T. (2019b). Brain tumor detection and classification: A framework of marker-based watershed algorithm and multilevel priority features selection. *Microscopy Research and Technique*, 82(6), 909–922. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jemt.23238>
- Leguizamón Correa, D.N., Bareiro Paniagua, L.R., Vazquez Noguera, J.L., Pinto-Roa, D.P., & Salgueiro Toledo, L.A. (2015). Computerized Diagnosis of Melanocytic Lesions Based on the ABCD Method. 2015 Latin American Computing Conference (CLEI), 1-12. <https://doi.org/10.1109/CLEI.2015.7360029>
- Majtner, T., Lidayova, K., Yildirim-Yayilgan, S., & Hardeberg, J. Y. (2016). Improving skin lesion segmentation in dermoscopic images by thin artefacts removal methods. 2016 6th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP), 1–6. <https://doi.org/10.1109/EUVIP.-2016.7764580>
- Majtner, T., Yildirim Yayilgan, S., & Hardeberg, J. Y. (2016, September). Combining Deep Learning and Hand-Crafted Features for Skin Lesion Classification. *Proceedings of the IEEE*. <https://doi.org/10.1109/IPTA.2016.7821017>
- Mittal, A., Kumar, D., Mittal, M., Saba, T., Abunadi, I., Rehman, A., & Roy, S. (2020). Detecting Pneumonia Using Convolutions and Dynamic Capsule Routing for Chest X-ray Images. *Sensors*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/s20041068>
- Murugan, A., Nair, S.A.H., & Kumar, K.P.S. (2019). Detection of Skin Cancer Using SVM, Random Forest and kNN Classifiers. *Journal of Medical Systems*, 43(8), 269. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1400-8>
- Nasr Esfahani, E., Samavi, S., Karimi, N., Sorousmehr, S.M.R., Jafari, M., Ward, K., & Najarian, K. (2016a). Melanoma Detection by Analysis of Clinical Images Using Convolutional Neural Network. *Conference Proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference, 2016*. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7590963>
- Nasr Esfahani, E., Samavi, S., Karimi, N., Sorousmehr, S. M. R., Jafari, M., Ward, K., & Najarian, K. (2016b). Melanoma Detection by Analysis of Clinical Images Using Convolutional Neural Network. *Conference Proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference, 2016*. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7590963>
- Noman, F., Khan, M. U., Saba, T., Rehman, A., & Iqbal, S. (2018). Microscopic abnormality classification of cardiac murmurs using ANFIS and HMM. *Microscopy Research and Technique*, 81. <https://doi.org/10.1002/jemt.22998>

- Premaladha, J., & Ravichandran, K. S. (2016a). Novel Approaches for Diagnosing Melanoma Skin Lesions Through Supervised and Deep Learning Algorithms. *Journal of Medical Systems*, 40(4), 96. <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0460-2>
- Premaladha, J., & Ravichandran, K.S. (2016b). Novel Approaches for Diagnosing Melanoma Skin Lesions Through Supervised and Deep Learning Algorithms. *J. Med. Syst.*, 40(4), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0460-2>
- Qin, Z., Liu, Z., Zhu, P., & Xue, Y. (2020). A GAN-based image synthesis method for skin lesion classification. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 195, 105568. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105568>
- Ramya, V., Navarajan, J., Prathipa, R., & Kumar, L.A. (2015). Detection of melanoma skin cancer using digital camera images. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10, 3082–3085.
- Ramzan, F., Khan, M. U. G., Iqbal, S., Saba, T., & Rehman, A. (2020). Volumetric Segmentation of Brain Regions From MRI Scans Using 3D Convolutional Neural Networks. *IEEE Access*, 8, 103697–103709. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998901>
- Rodrigo-Nicolás, B., Bueno-Martínez, E., Martín-Santiago, A., Cañueto, J., Vicente, A., Torreló, A., Noguera-Morel, L., Duat-Rodríguez, A., Jorge-Finnigan, C., Palacios-Álvarez, I., García-Hernández, J. L., Sebaratnam, D. F., González-Sarmiento, R., & Hernández-Martín, A. (2018). Evidence of the high prevalence of neurological disorders in nonsyndromic X-linked recessive ichthyosis: a retrospective case series. *British Journal of Dermatology*, 179(4), 933–939. <https://doi.org/10.1111/bjd.16826>
- Rundo, F., Conoci, S., Ortis, A., & Battiato, S. (2018). An Advanced Bio-Inspired PhotoPlethysmography (PPG) and ECG Pattern Recognition System for Medical Assessment. *Sensors*, 18(2). <https://doi.org/10.3390/s18020405>
- Saba, T. (2021). Computer vision for microscopic skin cancer diagnosis using handcrafted and non-handcrafted features. *Microscopy Research and Technique*, 84(6), 1272–1283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jemt.23686>
- Saba, T., Khan, M.A., Rehman, A., & Marie-Sainte, S.L. (2019). Region Extraction and Classification of Skin Cancer: A Heterogeneous framework of Deep CNN Features Fusion and Reduction. *Journal of Medical Systems*, 43(9), 289. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1413-3>
- Saba, T., Rehman, A., Mehmood, Z., Kolivand, H., & Sharif, M. (2018). Image Enhancement and Segmentation Techniques for Detection of Knee Joint Diseases: A Survey. *Current Medical Imaging Reviews*, 14, 704–715.
- Saba, T., Sameh, A., Khan, F., Shad, S., & Sharif, M. (2019). Lung Nodule Detection based on Ensemble of Hand Crafted and Deep Features. *Journal of Medical Systems*, 43. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1455-6>
- Sahu, A., Yélamos, O., Iftimia, N., Cordova, M., Alessi-Fox, C., Gill, M., Maguluri, G., Dusza, S. W., Navarrete-Dechent, C., González, S., Rossi, A. M., Marghoob, A. A., Rajadhyaksha, M., & Chen, C.-S. J. (2018). Evaluation of a Combined Reflectance Confocal Microscopy–Optical Coherence Tomography Device for Detection and Depth Assessment of Basal Cell Carcinoma. *JAMA Dermatology*, 154(10), 1175–1183. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2018.2446>
- Taufiq, M., Hameed, N., Anjum, A., & Hameed, F. (2017). m-Skin Doctor: A Mobile Enabled System for Early Melanoma Skin Cancer Detection Using Support Vector Machine (Vol. 181, pp. 468–475). https://doi.org/10.1007/978-3-319-49655-9_57
- Ünver, H.M., & Ayan, E. (2019). Skin Lesion Segmentation in Dermoscopic Images with Combination of YOLO and GrabCut Algorithm. *Diagnostics*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/diagnostics9030072>
- Wahba, M., Ashour, A. S., Napoleon, S., Elnaby, M., & Guo, Y. (2017). Combined empirical mode decomposition and texture features for skin lesion classification using quadratic support vector machine. *Health Information Science and Systems*, 5. <https://doi.org/10.1007/s13755-017-0033-x>
- Xie, F., Fan, H., Li, Y., Jiang, Z., Meng, R., & Bovik, A. (2017). Melanoma Classification on Dermoscopy Images Using a Neural Network Ensemble Model. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 36(3), 849–858. <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2633551>

Information about authors

Ashimgaliyev Medet Zhumabayevich – doctoral student, L.N.Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan, ashimgaliyev.medet@gmail.com

Zhumadillayeva Ainur Kanadilovna – Candidate of technical sciences, Associate professor, L.N.Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan, ay8222@mail.ru, +77025295999

Ng Yin Kwee – Ph.D, Nanyang Technological University, Singapore, mykng@ntu.edu.sg

Suleimenova Laura Rakhmetollanovna – PhD, deputy dean, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: lsuleimenova@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0003-0770-8549, +77772956203

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ
ИСКУТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
ARTIFICIAL INTELLIGENCE

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_121
MFTAA 28.23.01

Н.М. Жунисов¹, Г.Н. Казбекова², А.С. Баймаханова³, А.Б. Абен⁴
Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан

¹E-mail: nurseit.zhunissova@ayu.edu.kz*

²E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz

³E-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz

⁴E-mail: arypzhan.aben@ayu.edu.kz

БІЛІМ БЕРУ ПОРТАЛЫН ӨЗІРЛЕУ КЕЗІНДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНУ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПОРТАЛА

USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN THE DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL PORTAL

Аңдатпа. *Машиналық оқыту алгоритмдерін білім беру порталында қолдану оқу процесін жекелендіруге, автоматтандыруға және талдауға мүмкіндік береді. Бұл білім сапасын арттырып, оқу тәжірибесін жақсартуға бағытталған маңызды қадам болады. Дегенмен, жеке деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету және жүйенің дәлдігін үнемі бақылау маңызды аспектілер болып табылады.*

Мақалада білім беру порталдарын өзірлеу кезінде машиналық оқыту алгоритмдерін қолдануы зерттеледі. Мақала заманауи технологияларды және машиналық оқыту алгоритмдерін пайдаланып, білім беру онлайн порталын өзірлеуді қарастырады.

Осы жұмыс білім беру порталын өзірлеу барысында машиналық оқыту (МО) алгоритмдерін қолдану арқылы оқу процесін тиімдірек ету және оқушылардың білім сапасын арттыруды мақсат етеді. Білім беру порталы білім алушылар мен мұғалімдерге тиімді оқу тәжірибесін ұсыну үшін инновациялық технологияларды қолдануды қажет етеді. Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы оның әртүрлі мүмкіндіктерін жүзеге асыру қарастырылады. Бұл әдіс білім алушылардың үлгерімін талдау сияқты мәселелердің оңтайлы жолмен шешілетіні келтірілген.

Мақалада машиналық оқытудың бірнеше алгоритмдерінің сапалық салыстырулары жинақталған, осылайша берілген проблемалық мәлімдеме негізінде оңтайлы өнімділікті алу үшін ең қолайлы және тиімді алгоритмді таңдауға болады. МО алгоритмдері оқу деректерін талдай алады және білім алушылардың жетістігін болжай алады, бұл оқытушыларға білім беру процесінде ақпараттандырылған шешімдер қабылдауға, алаяқтық әрекеттерді анықтауға және білім беру порталының қауіпсіздігін жақсартуға көмектеседі. Машиналық оқытуды білім беру мазмұнының сапасын талдау және оны жақсарту бойынша ұсыныстар жасау үшін пайдалануға, ресурстарды бөлу, кестені жоспарлау және ресурстарды басқару сияқты әкімшілік тапсырмаларды автоматтандыруға көмектеседі.

Түйін сөздер. Білім беру порталы, Big Data, машиналық оқыту, алгоритм, LMS, SIS, CMS

Аннотация. *Применение алгоритмов машинного обучения на образовательном портале позволяет персонализировать, автоматизировать и анализировать учебный процесс. Это будет важный шаг, направленный на повышение качества образования и улучшение опыта обучения. Однако обеспечение безопасности персональных данных и постоянный контроль точности системы являются важными аспектами.*

В статье исследуется использование алгоритмов машинного обучения при разработке образовательных порталов. В статье рассматривается разработка образовательного онлайн портала с использованием современных технологий и алгоритмов машинного обучения.

Настоящая работа направлена на повышение эффективности учебного процесса и повышение качества знаний учащихся за счет использования алгоритмов машинного обучения (МО) при разработке образовательного портала. Образовательный портал требует использования инновационных технологий для предоставления учащимся и учителям эффективного опыта обучения. Рассматривается реализация различных его возможностей с помощью алгоритмов машинного обучения. Приведено, что такой метод, как анализ успеваемости обучающихся, решается оптимальным путем.

В статье собраны качественные сравнения нескольких алгоритмов машинного обучения, чтобы можно было выбрать наиболее подходящий и эффективный алгоритм для получения оптимальной производительности на основе заданного заявления о проблеме. Алгоритмы МО могут анализировать данные обучения и прогнозировать успех учащихся, помогая преподавателям принимать обоснованные решения в образовательном процессе, выявлять мошеннические действия и повышать безопасность образовательного портала. Помогает использовать машинное обучение для анализа качества образовательного контента и выработки рекомендаций по его улучшению, автоматизации административных задач, таких как распределение ресурсов, планирование расписания и управление ресурсами.

Ключевые слова. Образовательный портал, большие данные, машинное обучение, алгоритм, LMS, SIS, CMS

Abstract. The use of machine learning algorithms on the educational portal allows you to personalize, automate and analyze the learning process. This will be an important step aimed at improving the quality of education and improving the learning experience. However, ensuring the security of personal data and constant monitoring of the accuracy of the system are important aspects.

The article explores the use of machine learning algorithms in the development of educational portals. The article discusses the development of an online educational portal using modern technologies and machine learning algorithms.

This work is aimed at improving the efficiency of the educational process and improving the quality of students' knowledge through the use of machine learning algorithms (MO) in the development of an educational portal. The educational portal requires the use of innovative technologies to provide students and teachers with an effective learning experience. The implementation of its various capabilities using machine learning algorithms is considered. It is shown that such a method as the analysis of students' academic performance is solved in an optimal way.

The article contains qualitative comparisons of several machine learning algorithms so that you can choose the most appropriate and effective algorithm to obtain optimal performance based on a given problem statement. MO algorithms can analyze learning data and predict student success, helping teachers make informed decisions in the educational process, identify fraudulent activities and improve the security of the educational portal. It helps to use machine learning to analyze the quality of educational content and make recommendations for its improvement, automate administrative tasks such as resource allocation, scheduling and resource management.

Keywords. Educational portal, Big Data, machine learning, algorithm, LMS, SIS, CMS

Kipicne. Заманауи технологиялар білім беру ортасын тез өзгертіп, оны қол жетімді, интерактивті және жекелеңдіріп отыр. Осы саладағы ең перспективалы бағыттардың бірі білім беру порталдарын әзірлеуде машиналық оқыту алгоритмдерін (МО) қолдану болып табылады. Бұл технологиялар оқу процесін оңтайландыруға, жауап беретін мазмұнды құруға және білім сапасын жақсартуға жаңа мүмкіндіктер береді.

Машиналық оқыту алгоритмдері білім беру тәжірибесін жақсарту үшін қолдануға болатын заңдылықтар мен тенденцияларды анықтай отырып, деректердің үлкен көлемін талдай алады. Олар оқу материалдарын оқушылардың жеке қажеттіліктеріне бейімдеуге ғана емес, сонымен қатар бағалау процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді, бұл оқытушылардың уақытын айтарлықтай үнемдейді және нәтижелердің объективтілігін арттырады. Білім беру технологиялары нарығында өсіп келе жатқан бәсекелестік жағдайында курстардың мазмұнын ғана емес, сонымен қатар оқушылармен өзара әрекеттесу сапасын да ескеру қажет. МО көмегімен жеке оқу жоспарларын құруға, студенттің білім деңгейіне байланысты тапсырмаларды бейімдеуге және нәтижелерді жақсарту бойынша ұсыныстар беруге болады. Сонымен қатар, алгоритмдер білім беру

материалдарының тиімділігін талдай алады, бұл тез өзгертулер мен жақсартулар жасауға мүмкіндік береді.

Бұл зерттеудің мақсаты-білім беру порталдарында машиналық оқыту алгоритмдерін қолданудың негізгі аспектілерін қарастыру, олардың артықшылықтары мен мүмкін болатын қиындықтарын анықтау. Сондай-ақ, біз бұл технологияларды оқушылардың оқуы мен дамуында максималды нәтижеге жету үшін білім беру платформаларына қалай біріктіруге болатынын талдаймыз. Осылайша, білім беру ортасында машиналық оқытуды қолдану оқытудың жаңа көкжиектерін ашады, оны бейімделгіш және дараланған етеді, нәтижесінде жалпы білім деңгейінің сапалы өсуіне ықпал етеді.

Машиналық оқыту алгоритмдері көмегімен оқушының жұмысын тексеру және оқушының нәтижеге жету және сәтсіздіктің алдын алу үшін қалай қолданылғанын білу. Білім беру порталдарын әзірлеу кезінде машиналық оқыту алгоритмдерінің интеграциясы білім беру технологиялары саласындағы революциялық серпіліс болып табылады (Wagiran et al., 2022).

Машиналық оқыту, жасанды интеллекттің бір бөлігі болғандықтан білім беру порталдарының интеллектуалды және деректерге негізделген болуына мүмкіндік береді. Бұл технология платформаларға білім беру деректерінің үлкен көлемін талдауға және түсіндіруге, пайдаланушылардың мінез-құлқы мен қалауларын түсінуге және жекелендірілген мазмұнды, кері байланысты және ұсыныстарды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде білім беру порталдары өз пайдаланушыларының жеке қажеттіліктері мен оқу стильдерін қанағаттандыра алады, бұл білім беруді қол жетімді және тиімді етеді (Jaoua et al., 2022).

Білім беру порталдарын әзірлеу кезінде машиналық оқыту алгоритмдерін пайдалану, қарқынды дамып келе жатқанын көрсетеді. Қазіргі таңда онлайн білім беру платформаларының LMS, CMS, SIS түрлері бар және әр портал көп жағдайда 1 түріне сәйкес келеді. Бірақ осы 3 түрлі онлайн білім беру жүйесінің мүмкіндіктерін қамтитын онлайн білім беру порталдары жоқтың қасы (Aslam et al., 2021).

Ақпараттық технологиялардың қазіргі әлемінде интернет-технологиялар мен цифрлық ресурстардың пайда болуымен білім беру процесі революциялық өзгерістерге ұшырайды. Осы эволюция аясында білім беру порталдарын дамытуда жаңа мүмкіндіктер мен перспективалар бере отырып, машиналық оқыту алгоритмдері қолданыла бастады.

Осы тұрғыда мақалада білім беру порталдарын әзірлеу кезінде машиналық оқыту алгоритмдерін қолдануды зерттеуге бағытталған. Машиналық оқыту алгоритмдері білім беру процестерін оңтайландыру және пайдаланушы тәжірибесін жақсарту үшін жаңа құралдары мен әдістері ұсынылады (Elezi & Bamber, 2021; Rodrigues et al., 2019).

Бұл мақалада білім беру порталдарында машиналық оқыту алгоритмдерін қолдануға байланысты әдістерді, артықшылықтары мен қиындықтары қарастырылады. Сондай-ақ осы алгоритмдерді білім беру мақсатында пайдаланған кезде, оқушы деректерінің қауіпсіздігі мен құпиялылығын қамтамасыз етіледі.

Осылайша, заманауи технологиялар білім беру жүйесінің тиімділігін арттырып, оқу процесін барынша қолайлы және өнімді етеді.

Материалдар және зерттеу әдістері. Зерттеу барысында машиналық оқыту (МО) мен жасанды интеллекттің (ЖИ) білім беру саласында қолданылу аясы кеңейіп, олардың әртүрлі аспектілері зерттелді. Келесі жұмыстар осы тақырыптағы маңызды үлестер болып табылады:

Geetha et al. (2021) және оның әріптестері онлайн емтихандар кезінде студенттерді бақылау үшін бет анықтау және тану жүйесін жобалауда машиналық оқыту алгоритмдерін қолданған. Бұл жұмыс студенттердің онлайн бағалауларда академиялық адалдығын

қамтамасыз ету үшін МО-ны пайдалану мүмкіндіктерін көрсетеді. Технологияның күрделілігі мен тиімділігі қарастырылып, оның артықшылықтары мен шектеулері талқыланған.

Kuleto et al. (2021) және оның әріптестері жоғары оқу орындарында ЖИ мен МО-ның мүмкіндіктері мен қиындықтарын зерттеген. Жұмыс білім беру саласында технологиялық өзгерістердің әлеуеті мен әсерін, сондай-ақ осы технологияларды тиімді енгізу жолындағы қиындықтарды талдайды. Мақалада ЖИ мен МО енгізу арқылы жоғары білімді дамытуға арналған ұсыныстар берілген .

Asthana & Hazela (2020) еңбектерінде машиналық оқытудың білім беру ортасын жақсартудағы қолданбаларына назар аударған Олар үлкен деректер мен IoT-технологияларына негізделген МО-ның оқытушылар мен студенттер үшін жаңа мүмкіндіктер ашып, оқыту процесін жетілдіру жолдарын ұсынады. Бұл зерттеу білім беру мекемелерінің технологиялық даму кезеңдеріне шолу жасайды .

Gresse von Wangenheim et al. (2021) еңбектерінде МО-ны мектепте оқытуға арналған визуалды құралдарды талдаған. Он жылдық жүйелі зерттеу нәтижесінде К-12 деңгейінде МО-ны оқытуға арналған әдістердің қалай дамып келе жатқандығы көрсетілген. Визуалды құралдар оқышылардың МО негіздерін түсінуіне қалай ықпал ететіні талқыланған.

Yakubu & Abubakar (2022) еңбектерінде МО тәсілдерін қолдана отырып, жоғары оқу орындарында студенттердің үлгерімін болжау мүмкіндіктерін зерттеген. Мақалада студенттердің академиялық көрсеткіштерін жақсарту үшін машиналық оқытуды қолданудың тиімділігі мен осы әдістемелердің білім беру мекемелерінде қалай қолданылатыны көрсетілген .

Verma et al. (2020) және оның әріптестері студенттердің туған жерін анықтауға арналған МО-ны шынайы уақыт режимінде қолдануды зерттеген. Олардың жұмысы МО алгоритмдерінің түрлі деректерді пайдалана отырып студенттердің ерекшеліктерін танудағы тиімділігін көрсетеді, бұл білім беру үдерісін жеке даралау үшін қолданылуы мүмкін .

Tedre et al. (2021) және оның әріптестері К-12 деңгейінде МО оқытудағы педагогикалық және технологиялық аспектілерді қарастырған. Зерттеу МО-ны мектеп бағдарламасына енгізу үшін қажетті әдістемелерді әзірлеу және олардың оқыту тиімділігін арттырудағы рөлін талдайды .

Smirani et al. (2022) және оның әріптестері студенттердің сәтсіздікке ұшырау мүмкіндігін болжау үшін ансамбльдік оқыту алгоритмдерін қолданған. Олардың жұмысы МО-ны қолдана отырып білім алушыларға жеке білім беру жолдарын ұсынудың тиімді әдістерін қарастырады.

Бұл әдебиеттер машиналық оқыту және жасанды интеллектті білім беру саласында тиімді қолдану жолдарын қарастырады, соның ішінде оқыту процесін оңтайландыру, студенттердің жетістіктерін болжау және оқыту әдістемелерін жетілдіру тәсілдерін зерттейді.

Бұл зерттеуде электрондық оқыту үдерістерін басқаруға арналған LMS (Learning Management System) платформасы әзірленді. LMS платформасы оқу орындары, университеттер, компаниялар және үкіметтер тарапынан кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, компаниялар оны қызметкерлерді оқыту ғана емес, сонымен қатар тұтынушыларды оқыту мақсатында да пайдаланады. Қазіргі уақытта B2B (бизнес-аралық) немесе B2C (бизнес-тұтынушы) модельдері арқылы әртүрлі тақырыптар бойынша білім беру мазмұнын ұсынатын коммерциялық LMS өнімдері танымалдыққа ие. Бұл электрондық оқыту платформалары білім беру процесін оңтайландыру және масштабтау үшін кеңінен қолданылады. LMS-тің маңызды ерекшеліктерінің бірі –

орталықтандырылған деректер базасы мен модульдік құрылымның болуы, бұл жүйенің икемділігі мен масштабталуын қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, зерттеу барысында машиналық оқыту алгоритмдерінің тиімділігіне ерекше мән берілді, оның негізгі кезеңдерінің бірі – қажетті дереккөздерден ақпарат жинау. Ақпаратты жинау үшін ашық дереккөздер пайдаланылды. Зерттеуде Kaggle платформасында ұсынылған деректер жиынтықтары қолданылды, бұл бағытта арнайы дайындалған CSV форматындағы мәліметтер білім алушылардың үлгерімін талдау үшін пайдаланылды. 1-суретте көрсетілген student mat.csv файлындағы ақпаратты қарастырайық.

```
[ ] data = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/student-mat.csv")
```

```
data.head()
```

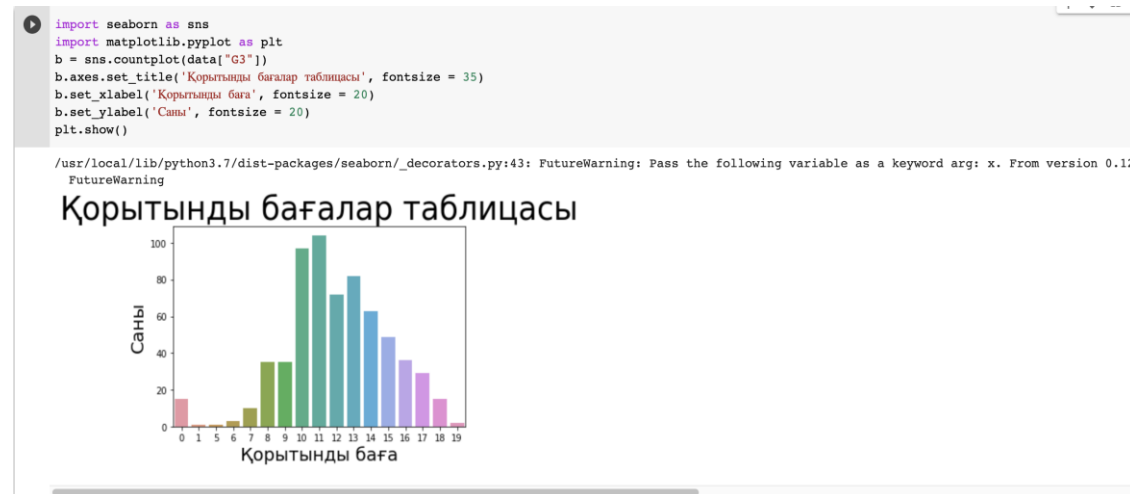
| | school | sex | age | address | famsize | Pstatus | Medu | Fedu | Mjob | Fjob | ... | famrel | freetime | goout | Dalc | Walc | health | absences | G1 | G2 | G3 |
|---|--------|-----|-----|---------|---------|---------|------|------|---------|----------|-----|--------|----------|-------|------|------|--------|----------|----|----|----|
| 0 | GP | F | 18 | U | GT3 | A | 4 | 4 | at_home | teacher | ... | 4 | 3 | 4 | 1 | 1 | 3 | 4 | 0 | 11 | 11 |
| 1 | GP | F | 17 | U | GT3 | T | 1 | 1 | at_home | other | ... | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 9 | 11 | 11 |
| 2 | GP | F | 15 | U | LE3 | T | 1 | 1 | at_home | other | ... | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 6 | 12 | 13 | 12 |
| 3 | GP | F | 15 | U | GT3 | T | 4 | 2 | health | services | ... | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 5 | 0 | 14 | 14 | 14 |
| 4 | GP | F | 16 | U | GT3 | T | 3 | 3 | other | other | ... | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 5 | 0 | 11 | 13 | 13 |

5 rows x 33 columns

1-сурет. Student.mat.csv файлының көрінісі

Ескерту – автормен құрастырылған.

Мұнда біз білім алушы туралы қандай ақпарат бар екенін көре аламыз. Көріп отырғанымыздай, оқушының жынысы, тұрғылықты жері (қалалық, ауылдық), отбасындағы бала саны, ата-анасының білімі, ата-анасының мамандығы, бос уақыты, денсаулығы туралы мәліметтер бар, сабаққа қатысу және орташа қорытынды баға.

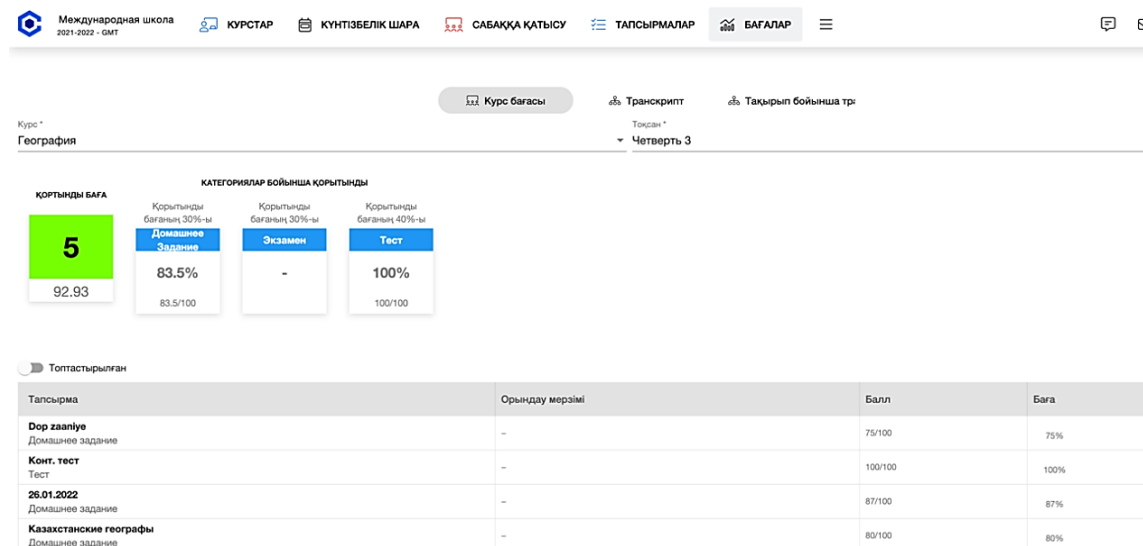


2-сурет. Білім алушылардың қорытынды баға бойынша диаграммасы

Ескерту – автормен құрастырылған.

2-суретте көрсетілген графикте оқушылардың бағалары қалай бөлінетінін көреміз. Орташа баға алған оқушылар саны қалыпты үлестіру бағдарламасы бойынша (қалыпты таралу) бөлінеді.

Нәтижелер және оларды талқылау. Бұл зерттеуде әзірленген білім беру порталы білім беру процесін автоматтандыруға бағытталған және LMS (Learning Management System), SIS (Student Information System), CMS (Content Management System) сияқты негізгі жүйелерді біріктіретін платформа болып табылады (Fahd et al., 2022). Оқу процесін басқарудағы икемділікті қамтамасыз ету үшін осы жүйелердің әрқайсысы бірқатар мүмкіндіктерге ие, соның ішінде бағалау жүйесінің бейімделу мүмкіндіктері ерекше назар аударды.



3-сурет. Білім алушылар пән бойынша алған бағалары

Ескерту – автормен құрастырылған.

3-суретте көрсетілген бағалау жүйесі пән мен курсқа байланысты икемділігімен ерекшеленеді, бұл білім беру мекемелеріне өздерінің ішкі талаптарына сай жүйені реттеп қолдануға мүмкіндік береді. Бағалау жүйесі төмендегі параметрлерге негізделген алгоритмдер арқылы икемделеді:

1. *Бағалау қызметі.* Бағалау жүйесінде бағалау әрекеті қосылған кезде ғана бағалауды орындау және қорытындылау мүмкін болады. Бұл жүйе өшірілген болса, пайдаланушыға пән бойынша бағалау жүргізу мүмкін болмайды.

2. *Тәртіптік бағалауды қорытындылау уақыты.* Бұл параметр бағаларды алты айлық немесе тоқсандық кезеңдер бойынша қорытындылауға мүмкіндік береді. Әрбір оқу мекемесі өз оқу жылының кезеңдеріне сәйкес бағаны қорытындылау уақытын таңдай алады.

3. *Кредиттер саны.* Бұл параметр, әсіресе, жоғары оқу орындары үшін маңызды болып табылады, себебі ол оқу үлгерімін GPA (Grade Point Average) арқылы бағалауға негіз болады. Кредиттердің саны оқу нәтижелерін және үлгерімді талдауда басты көрсеткіш болып есептеледі.

4. *Рейтинг санаты.* 4-суретте көрсетілгендей, бағалау категориялары әрбір оқу мекемесінің немесе елдің білім беру стандарттарына сәйкес өзгеруі мүмкін. Әр санаттың максималды және минималды бағасы, бағалау дәлдігі, ондық таңбалардың саны, сондай-ақ әрбір санатқа тиісті салмақ белгіленеді. Бұл параметрлер пән немесе курсқа байланысты икемделіп, оқу бағдарламасының талаптарына сәйкес реттеледі (Gligorea et al., 2023).

5. Жылдық қорытынды бағаны есептеу үшін 4-суретте көрсетілген параметрлер пайдаланылады. Бұл бағалау моделі квартильдік жүйеге негізделген, яғни бағалау үлгілері санаттардан емес, квартильдерден және олардың салмақтарынан тұрады. Мұндай жүйе бағалау нәтижелерін біріздендіруге және оқу мекемелері арасында келісімді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

| | |
|---------------------------------------|---|
| ✓ I Бағалау категориясы (100%) | + |
| Үй жұмыстары (25%) | + |
| Сынып жұмыстары (25%) | + |
| БЖБ - I (12.5%) | + |
| БЖБ - II (12.5%) | + |
| ТЖБ (25%) | + |

4-сурет. Бағалау категориясы

Ескерту – автормен құрастырылған.

| | |
|---|---|
| ✓ I Жылдық қорытынды баға (100%) | + |
| Тоқсан 1 (25%) | |
| Тоқсан 2 (20%) | |
| Тоқсан 3 (30%) | |
| Тоқсан 4 (25%) | |

5-сурет. Жылдық қорытынды баға

Ескерту – автормен құрастырылған.

5-суретте әрбір баллды анықтау үшін қолданылатын бағалау схемасы көрсетілген. Бұл схема жоғары оқу орындары мен орта мектептерде әртүрлі болуы мүмкін. Жоғары оқу орындарында әріптік бағалау жүйесі (мысалы, А, А-, В+) қолданылады, ал орта мектептерде сипаттамалық бағалау жүйесі (өте жақсы, жақсы, орташа, нашар) жиі қолданылады. 6-суретте көрсетілгендей бұл бағалау схемасы әрбір кезеңде немесе оқу жылының соңында оқу үлгерімін объективті бағалау үшін қолданылады.

Зерттеу барысында машиналық оқыту алгоритмдері білім беру порталындағы деректерді талдау және болжау үшін қолданылды. Бұл алгоритмдер білім алушылардың үлгерімін болжау және оқыту тиімділігін арттыру мақсатында енгізілді. Алгоритмдерді қолдану алдында деректер екі бөлікке бөлінді: 75 %-ы модельді жаттықтыру үшін, ал қалған 25%-ы модельді сынақтан өткізу және оның дәлдігін тексеру үшін пайдаланылды (Plíc et al., 2021; Martins & Gresse von Wangenheim, 2023).

| Бағалау схемасы | | | | | | |
|--|----------|------------------|---|------------------|---------|-----|
| Аты * | Тipi * | | | | | |
| GPA | Диапазон | | <input checked="" type="checkbox"/> Кредиттік жүйе үшін ұпайларды қосу <input checked="" type="checkbox"/> Белсенділігі | | | |
| Баға диапазондары | | | | | | |
| * Бағалар диапазонын кему ретiмен толтырыңыз, мысалы 90-100, 80-90 және т.б. | | | | | | |
| # | Баға | Диапазон | Макс. балл | Баға сипаттамасы | Тipi | + ☰ |
| 1 | A | 95 және 100 | 4 | Excellent | Өтпi | |
| 2 | A- | 90 және 95 арасы | 3.67 | Excellent | Өтпi | |
| 3 | B+ | 85 және 90 арасы | 3.33 | Good | Өтпi | |
| 4 | B | 80 және 85 арасы | 3 | Good | Өтпi | |
| 5 | B- | 75 және 80 арасы | 2.67 | Good | Өтпi | |
| 6 | C+ | 70 және 75 арасы | 2.33 | Satisfactory | Өтпi | |
| 7 | C | 65 және 70 арасы | 2 | Satisfactory | Өтпi | |
| 8 | C- | 60 және 65 арасы | 1.67 | Satisfactory | Өтпi | |
| 9 | D+ | 55 және 60 арасы | 1.33 | Weak | Өтпi | |
| 10 | D | 50 және 55 арасы | 1 | Weak | Өтпi | |
| 11 | FX | 25 және 50 арасы | 0.67 | Failed | Өтпейдi | |
| 12 | F | 0 және 25 арасы | 0 | Failed | Өтпейдi | |

6-сурет. Бағалау схемасы

Ескерту – автормен құрастырылған.

Зерттеу барысында қолданылған төрт машиналық оқыту алгоритмдерінің нәтижелері келесідей:

1. *Сызықты регрессия (Linear Regression)*: Бұл алгоритм тест деректеріне негізделі отырып, 85,75 % дәлдік көрсетті. Сызықты регрессия негізінен деректер арасындағы сызықтық байланысты анықтауға бағытталған және оқушылардың табыстылығын болжауда жақсы нәтиже көрсетті. Сызықты регрессия нәтижелері төменде 7-суретте көрсетілген.

```
[ ] from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.metrics import r2_score
modell = LinearRegression()
modell.fit(x_train,y_train)
pred1 = modell.predict(x_test)
pred1_score = r2_score(y_test, pred1)
print(pred1_score)
```

0.857480153487532

7-сурет. Сызықты регрессия нәтижесі

Ескерту – автормен құрастырылған.

2. *Кездейсоқ орман регрессоры (Random Forest Regressor)*: Бұл алгоритм тест деректерінде 74.21% дәлдік көрсетті. Кездейсоқ орман регрессоры көптеген шешім ағаштарын қолдану арқылы нәтиже шығарады, бірақ бұл алгоритмнің дәлдігі басқа әдістермен салыстырғанда төменірек болды (8-сурет).


```
[ ] from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
model2 = RandomForestRegressor(n_estimators = 500, bootstrap = True, max_depth = 50, max_features = 4, min_samples_leaf = 7, min_samples_split = 10)
model2.fit(x_train, y_train)
pred2 = model2.predict(x_test)
pred2_score = r2_score(y_test, pred2)
print(pred2_score)

0.7421250944549207
```

8-сурет. Кездейсоқ орман регрессоры нәтижесі

Ескерту – автормен құрастырылған.

3. *Градиентті күшейтетін регрессор (Gradient Boosting Regressor):* Бұл алгоритм тест деректерін қолдана отырып, 83.57% дәлдікке қол жеткізді. Градиентті күшейту әдісі қателіктерді азайтуға бағытталған және деректердің дәлдігін арттыруда тиімділігін көрсетті (9-сурет).

```
[ ] from sklearn.ensemble import GradientBoostingRegressor
model3 = GradientBoostingRegressor()
model3.fit(x_train, y_train)
pred3 = model3.predict(x_test)
pred3_score = r2_score(y_test, pred3)
print(pred3_score)

0.8357512046806712
```

9-сурет. Градиентті күшейтетін регрессор (Gradient Boosting Regressor) нәтижесі

Ескерту – автормен құрастырылған.

4. *Байес жотасы (Bayesian Ridge):* Бұл алгоритм тест деректерінде ең жоғары дәлдікке жетіп, 86,27 % нәтижеге қол жеткізді. Байес жотасы регрессиясы ықтималдыққа негізделген және модельдің тиімділігін жақсарту үшін жақсы қолданылды (10-сурет).

```
[ ] from sklearn.linear_model import BayesianRidge
model4 = BayesianRidge()
model4.fit(x_train, y_train)
pred4 = model4.predict(x_test)
pred4_score = r2_score(y_test, pred4)
print(pred4_score)

0.8627359036438932
```

10-сурет. Байес жотасы (Bayesian Ridge) нәтижесі

Ескерту – автормен құрастырылған.

Алынған нәтижелерден көргеніміздей, Байес жотасы алгоритмі ең жоғары дәлдікпен ерекшеленіп, білім алушылардың үлгерімін болжауда тиімді құрал болып шықты. Бұл модельдің негізгі артықшылығы – деректердің ықтималдық тұрғысынан талдануы, соның арқасында болжау нәтижелері дәлірек болды.

Машиналық оқытудың артықшылықтары мен қиындықтары. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, машиналық оқыту алгоритмдерінің білім беру саласында қолданылуы оқыту процесін жекелендіруге, деректерді талдау арқылы білім алушылардың қажеттіліктерін алдын-ала анықтауға және оларға қосымша қолдау көрсетуге мүмкіндік береді. Бұл алгоритмдердің білім беру процесіне енгізілуі оқыту сапасын жақсартуға және оқу бағдарламаларын оқушылардың жеке ерекшеліктеріне сәйкес бейімдеуге көмектеседі.

Сонымен қатар, машиналық оқыту деректерді талдау арқылы оқу процесіндегі әлсіз жақтарды анықтауға және білім алушылардың табыстылығын болжауға мүмкіндік береді. Алайда, бұл технологияны енгізу кезінде оқушылардың деректерінің қауіпсіздігін және құпиялылығын қамтамасыз ету маңызды. Машиналық оқытуды қолдану барысында жеке деректерді қорғау, алгоритмдердің әділеттілігі мен ашықтығын сақтау секілді этикалық және құқықтық аспектілерді ескеру қажет.

Машиналық оқыту алгоритмдері білім беру порталын жетілдірудің қуатты құралы болып табылады. Олар оқыту сапасын арттыруға, білім беру ресурстарының қолжетімділігін кеңейтуге және оқыту тәжірибесін жақсартуға ықпал етеді. Дегенмен, бұл технологияларды қолдану кезінде оқушылардың жеке деректерінің әділетті және қауіпсіз түрде қорғалуын қамтамасыз ету маңызды.

Қорытынды. Зерттеу барысында әзірленген білім беру порталы білім беру мекемелерінде оқыту үдерісін автоматтандыруға және басқаруға арналған тиімді құрал ретінде қарастырылды. Портал LMS, SIS және CMS жүйелерін біріктіріп, оқу үдерісін біртұтас жүйе ретінде ұсынады. Бұл оқу материалдарын басқаруға, студенттердің жетістіктерін қадағалауға және оқыту үдерісін тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Порталдың икемді бағалау жүйесі әртүрлі білім беру мекемелерінің талаптарына сай бейімделеді. Машиналық оқыту алгоритмдерін (сызықты регрессия, кездейсоқ орман, градиентті күшейту, Байес жотасы) пайдалану оқу үлгерімін болжау дәлдігін арттырды. Байес жотасы 86,27 % дәлдікпен ең жоғары нәтижені көрсетті, сызықты регрессия мен градиентті күшейту сәйкесінше 85,75 % және 83,57 % дәлдікке қол жеткізді.

Жалпы алғанда, зерттеу машиналық оқыту технологияларын білім беру үдерісіне интеграциялау арқылы білім беру сапасын айтарлықтай жақсартуға болатындығын көрсетті. Білім беру порталын жасау және дамыту студенттердің академиялық жетістіктерін жақсартуға, оқу процесін автоматтандыруға және оқыту үдерісін тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану – заманауи білім беру жүйелерін жетілдірудің және инновациялық оқыту әдістерін дамытудың маңызды аспектісі болып табылады. Дегенмен, бұл технологияларды енгізу барысында деректердің қауіпсіздігін, әділдігін және құпиялылығын қамтамасыз етудің маңыздылығын ұмытпау қажет.

Зерттеу нәтижелері білім беру порталын цифрландыру және деректерді қорғау арқылы білім беру сапасын арттыруға зор мүмкіндік беретініне көрсетеді. Болашақта білім беру жүйелерін әрі қарай цифрландыру және деректерді қорғауға арналған нормативтік-құқықтық базаны жетілдіру ұсынылады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Wagiran, W., Suharjana, S., Nurtanto, M., & Mutohhari, F. (2022). Determining the e-learning readiness of higher education students: A study during the COVID-19 pandemic. *Heliyon*, 8, e11160. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11160>
- Jaoua, F., Almurad, H. M., Elshaer, I. A., & Mohamed, E. S. (2022). E-learning success model in the context of COVID-19 pandemic in higher educational institutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2865. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052865>

- Aslam, S.M., Jilani, A.K., Sultana, J., & Almutairi, L. (2021). Feature evaluation of emerging e-learning systems using machine learning: An extensive survey. *IEEE Access*, 9, 69573–69587. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077663>
- Elezi, E., & Bamber, C. (2021). Factors affecting successful adoption and adaptation of e-learning strategies. In *Enhancing academic research and higher education with knowledge management principles* (pp. 19–35). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5772-3.ch002>
- Rodrigues, H., Almeida, F., Figueiredo, V., & Lopes, S. L. (2019). Tracking e-learning through published papers: A systematic review. *Computers & Education*, 136, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.03.007>
- Geetha, M., et al. (2021). Design of face detection and recognition system to monitor students during online examinations using machine learning algorithms. In *2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCI50826.-2021.9402553>
- Kuleto, V., et al. (2021). Exploring opportunities and challenges of artificial intelligence and machine learning in higher education institutions. *Sustainability*, 13(18), 10424. <https://doi.org/10.3390/su131810424>
- Asthana, P., & Hazela, B. (2020). Applications of machine learning in improving learning environment. In *Multimedia big data computing for IoT applications: Concepts, paradigms and solutions* (pp. 417-433). https://doi.org/10.1007/978-981-13-8759-3_16
- Gresse von Wangenheim, C., et al. (2021). Visual tools for teaching machine learning in K-12: A ten-year systematic mapping. *Education and Information Technologies*, 26(5), 5733-5778. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10570-8>
- Yakubu, M.N., & Abubakar, A.M. (2022). Applying machine learning approach to predict students' performance in higher educational institutions. *Kybernetes*, 51(2), 916–934. <https://doi.org/10.1108/K-12-2020-0865>
- Verma, C., et al. (2020). Machine learning-based student's native place identification for real-time applications. *IEEE Access*, 8, 130840–130854. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008830>
- Tedre, M., et al. (2021). Teaching machine learning in K–12 classroom: Pedagogical and technological trajectories for artificial intelligence education. *IEEE Access*, 9, 110558-110572. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3097962>
- Smirani, L.K., et al. (2022). Using ensemble learning algorithms to predict student failure and enabling customized educational paths. *Scientific Programming*, 2022, Article 3805235. <https://doi.org/10.1155/2022/3805235>
- Fahd, K., et al. (2022). Application of machine learning in higher education to assess student academic performance, at-risk, and attrition: A meta-analysis of literature. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1–33. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10741-7>
- Gligorea, I., et al. (2023). Adaptive learning using artificial intelligence in e-learning: A literature review. *Education Sciences*, 13(12), 1216. <https://doi.org/10.3390/educsci13121216>
- Ilić, M.P., et al. (2021). Needs and performance analysis for changes in higher education and implementation of artificial intelligence, machine learning, and extended reality. *Education Sciences*, 11(10), 568. <https://doi.org/10.3390/educsci11100568>
- Martins, R.M., & Gresse von Wangenheim, C. (2023). Findings on teaching machine learning in high school: A ten-year systematic literature review. *Informatics in Education*, 22(3), 421–440. <https://doi.org/10.15388/infedu.2023.18>

Information about authors

Zhunisov Nurseit Mukhidinovich – PhD, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7127-3987>, +77012348885

Kazbekova Gulnur Nagimetovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan, Kazakhstan, E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2756-7926>, +77751333354

Baimakhanova Aigerim Sattarovna – Doctoral student in the educational program «Information systems», International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan, Kazakhstan, E-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5364-0146>, +77474792769

Aben Arypzhan Baktiarovich – Doctoral student in the educational program «Information systems», International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan, Kazakhstan, E-mail: arypzhan.aben@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8534-3288>, +77059045897

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_132
MPHTI 20.23.27

Г.Д. Зунимова¹, Г.Ж. Солтан², Д.В. Лихачевский³, А.А. Исмаилова¹, Г.О. Исакова¹

¹НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет
имени С. Сейфуллина», г. Астана, Казахстан

*E-mail: gulnazzunimova06@gmail.com**

E-mail: a.ismailova@mail.ru

E-mail: is_gul_oral@gmail.com

²Товарищество с ограниченной ответственностью «Astana IT University»,
г. Астана, Казахстан

E-mail: gsoltan@mail.ru

³Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», г. Минск, Беларусь

E-mail: likhachevskyd@bsuir.by

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**БІЛІМ БЕРУ ҮРДІСІ ДЕРЕКТЕРІН ТӘЖІРИБЕЛІК ТАЛДАУ ҮШІН
ШЕШІМДІ ҚОЛДАУ ӘДІСІН ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ**

**IMPLEMENTATION OF A DECISION SUPPORT METHOD
FOR PRACTICAL ANALYSIS OF EDUCATIONAL PROCESS DATA**

Аннотация. Системы поддержки принятия решений используются для поддержки управленческой деятельности человека. В сфере образовательных услуг системы поддержки принятия решений недостаточно распространены и в основном направлены на управление финансами. Практический анализ данных образовательного процесса является сложной задачей автоматизации в сфере принятия решений. Поэтому целью работы выступает разработка метода поддержки принятия решений для практического анализа данных образовательных услуг, который может быть положен в основу создания инструмента управления процессами в образовательном учреждении, с целью повышения качества работы вуза. Для достижения данной цели используются факторный анализ, работа с множествами и объектно-ориентированный подход в программировании. В работе представлены алгоритмы с анализом одного или нескольких факторов для получения оценки о качестве образовательных услуг, представлена и формализована схема процесса принятия решения, описаны подходы к возможной программной реализации через операции с объектами, классами и операциями над ними. Практическая значимость полученных результатов охватывает усовершенствование систем управленческой деятельности в образовательных учреждениях. Полученные результаты также позволяют создавать специализированные системы принятия решений на предприятиях торговли или сферы питания, когда стоит задача определить эффективность управления по критериям удовлетворенности клиента отдельными характеристиками товара.

Ключевые слова: объект; класс; полиморфизм; инкапсуляция; наследование; алгоритм принятия решений.

Аңдатпа. Адамның басқару қызметін қолдау үшін шешім қабылдауды қолдау жүйелері пайдаланылады. Білім беру қызметтері саласында шешімдерді қолдау жүйелері кең таралмаған және негізінен қаржылық басқаруға бағытталған. Оқу үрдісінің деректерін практикалық талдау шешім қабылдау саласындағы автоматтандырудың күрделі міндеті болып табылады. Сондықтан жұмыстың мақсаты – университет жұмысының сапасын арттыру мақсатында оқу орнында процесті басқару құралын құруға негіз бола алатын білім беру қызметтерінен алынған деректерді практикалық талдау үшін шешім қабылдауды қолдау әдісін әзірлеу. Бұл мақсатқа жету үшін факторлық талдау, жиындармен жұмыс және бағдарламалауға объектілі-

бағытталған тәсіл қолданылады. Жұмыста білім беру қызметтерінің сапасын бағалауды алу үшін бір немесе бірнеше факторлардың талдауы бар алгоритмдер ұсынылған, шешім қабылдау процесінің схемасы ұсынылған және рәсімделген, операциялар арқылы объектілермен, кластармен және операциялармен бағдарламалық қамтамасыз етуді іске асырудың ықтимал тәсілдері сипатталған. Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы білім беру ұйымдарындағы басқару жүйесін жетілдіруді қамтиды. Алынған нәтижелерді тауардың жеке сипаттамаларына тұтынушылардың қанағаттану критерийлері негізінде басқару тиімділігін анықтау міндеті және бөлшек сауда немесе азық-түлік қызметтері кәсіпорындарында шешім қабылдау жүйесін әзірлеу үшін де пайдалануға болады.

Түйін сөздер: объект; класс; полиморфизм; инкапсуляция; мұрагерлік; шешім қабылдау алгоритмі.

Abstract. Decision support systems are utilised to aid human management activities. In the domain of educational services, decision support systems are not extensively utilised and are primarily designed for financial management. The automatic processing of practical data for the analysis of educational processes is a challenging task in the arena of decision making. This paper aims to create a decision support approach for analyzing educational service data. This will facilitate the development of a process management tool for educational institutions that can enhance the quality of their services. The methodology employs factor analysis, set theory and an object-oriented approach to programming for achieving this aim. The study introduces algorithms to analyse one or multiple factors for evaluating the quality of educational services. The study introduces algorithms to analyse one or multiple factors for evaluating the quality of educational services. Furthermore, it formulates a decision-making process and outlines various methods for implementing the software, which involve operations with objects, classes, and operations on them. The study introduces algorithms to analyse one or multiple factors for evaluating the quality of educational services. The findings are practically significant, as they can enhance management activities within educational institutions. The results obtained could also aid in developing decision-making systems in trade or catering businesses where the objective is to evaluate management effectiveness based on customer satisfaction criteria related to specific product features.

Keywords: object; class; polymorphism; encapsulation; inheritance; decision-making algorithm.

Введение. При решении задач автоматизации управленческих процессов встречаются нечеткие переменные или критерии, которые, тем не менее, приходится учитывать при вычислениях и алгоритмизации (Khedhaouria & Cucchi, 2019). При построении подобных систем изучается решение вопросов с точки зрения человека, а не машины (Bao et al., 2021), что подводит к вопросу создания экспертных систем для различных направлений функционирования современного общества.

Иногда возникают ситуации, где рассматриваются позиции разных сторон с различными интересами и требованиями, а решения при этом принимаются в одной и той же системе (Emadi et al., 2023). В описанном случае модель принятия решений невозможно построить исходя из принципов оптимальности. Приходится строить многоэтапный алгоритм, где на каждом уровне принимается свое решение, включая решения конфликтов или случайных возмущений (Skrimizea et al., 2019). А, например, в условиях неопределенности подобную задачу можно решать через эксперимент и моделирование возможного развития ситуации, принимая для каждого варианта свое решение. Для этого может быть изучена статистика подобных или аналогичных явлений и процессов, результаты экспертизы подобных ситуаций, анализа и аудита принятых в каждом случае решений. При подобных ситуациях также возможна разработка и создание специальных систем поддержки принятия решений, однако они будут основаны на специальной обработке экспертных данных без формализации или с частичной формализацией решения.

Актуальность задачи исследования состоит в слабой формализации образовательных процессов. Чаще всего подобное обусловлено разнородностью данных, которые образовательный процесс получает на входе, а также множеством критериев, которые необходимо формализовать таким образом, чтобы обеспечить адекватность цифровой модели системы обучения какого-либо учебного учреждения. При этом все учебные учреждения

имеют свои особенности и отличия, логику предпочтений, ограничения (Skrimizea et al., 2019). В этом случае реализация метода поддержки принятия решений для практического анализа данных образовательного процесса является задачей с множеством вариантов решения по одному исследуемому вопросу, среди которых необходимо выбрать оптимальный и обосновать его, что подчеркивает актуальность исследования.

Гипотеза исследования: при решении задач автоматизации анализа данных образовательного процесса можно применить метод, который основан на управлении объектами и классами, используемый при объектно-ориентированном подходе, где свойства объекта анализируются через вариант решения и его оптимальность.

Целью работы является разработка метода поддержки принятия решений для практического анализа данных образовательных услуг, который может быть положен в основу создания инструмента управления процессами в образовательном учреждении, с целью повышения качества работы вуза.

Данная цель реализуется посредством следующих задач:

- разработать и формализовать схему процесса принятия решения для практического анализа данных управления образовательным учреждением;
- представить алгоритм автоматизации с описанием подходов к возможной программной реализации, являющийся основой метода принятия решения для практического анализа данных образовательного процесса.

Литературный обзор. Следуя определению из классического учебника С. Саати (1993), под системой поддержки принятия решений (СППР) подразумевается информационная система, поддерживающая деятельность по принятию организационных решений. Правда, восприятие СППР со стороны пользователей и исследователей коренным образом отличается. Исследователи воспринимают системы поддержки принятия решений как инструмент поддержки процессов на разных уровнях управления (Бао et al., 2021). Пользователи рассматривают СППР как вспомогательный инструмент для принятия решений по проблемам, где управляющие факторы подвергаются быстрым изменениям, которые нелегко определить заранее, то есть неструктурированные и полуструктурированные проблемы принятия решений (Emadi et al., 2023). Поэтому разработка метода поддержки принятия решений для практического анализа данных образовательного процесса одновременно должна учитывать как анализ самого объекта управления в качестве сложной системы (Siebert et al., 2021), так и законы менеджмента в управлении сложными человекоцентричными системами (York et al., 2019).

Следует отметить, что тематика автоматизации процессов поддержки принятия решений в управлении образовательными услугами в последнее время занимает пристальное внимание исследователей. В этом ряду следует отметить диссертационные работы Hengstler et al. (2023) и Карканици (2019), рассматривающие некоторые особенности СППР применительно к использованию в системах образования. Однако в работе Hengstler et al. (2023) акцент сделан на исследование эффективности работы вуза и формализации процессов экономической деятельности для достижения определенных критериев управления, а в работе Карканици (2019) – на управление как таковое и изучение автоматизации динамических процессов в СППР.

Ближе всего к исследуемой теме находится работа Гаранина и Сандлера (2020), в которой рассматривается бизнес-блок процессов «наука – инновации». Структурная схема процессов дает представление об информации на входе и выходе блока, а также позволяет провести анализ возможностей вуза при управлении этим блоком. Хотя и в этой работе основной акцент уделяется финансированию деятельности и специализации СППР на управлении финансовыми потоками, аналогично работам Zietz et al. (2022) и Wyrick et al. (2022).

Практический анализ данных с помощью СППР акцентируется на построении моделей (Bertheau et al., 2019; Hendriks et al., 2020) и изучении неопределенности в системе управления (Yu, 2020). Однако без учета элементов управления именно образовательным процессом (Wang, 2021) эти работы создают лишь методологический базис для разработки новых методов исследования применительно к поставленным практическим задачам.

Материалы и методы исследования. Участников образовательного процесса, по которым собираются и систематизируются данные, в процессе автоматизации можно соотнести с отдельными объектами и классами. При объектно-ориентированном подходе в разработке СППР объекты могут обладать свойствами наследования, инкапсуляции и полиморфизма, что позволяет, учитывая свойства объектов разных классов, обрабатывать данные разных типов и при создании системы поддержки принятия решений рассматривать каждый объект как сложную подсистему в системе образовательной организации. В таком случае создание схемы процесса поддержки принятия решений может быть реализовано с помощью принципа оптимальности (P) и множества вариантов решения (Ω) как пары, порождающей множество решений для каждой возможной ситуации применимо к одному или нескольким процессам, происходящим в управлении организацией. Подобная задача может быть решена с получением множества $\Omega_p \leq \Omega$. Использование принципа оптимальности говорит о том, что отсутствие хотя бы одного элемента делает решение задачи невозможным. Подтверждением этому служит функция выбора C_p , позволяющая провести сопоставления подмножеству $X \leq \Omega$ любой его части $C_p(X)$. В итоге может быть получено оптимальное решение для исходной задачи в виде множества $C_p(X)$.

Отличие задач принятия решений состоит в информации, которая имеется о множестве Ω и принципе оптимальности P , хотя они могут быть и неизвестными. Информацию для получения варианта решения можно найти непосредственно в процессе решения, выводя из имеющихся множеств необходимые компоненты для проведения анализа. Если же множество известно, то проводится его оптимизация для получения решения.

Необходимо отметить, что при выборе решения можно ограничиться только минимально необходимой информацией для формирования оптимального решения. Также достаточно выделить значения $C_p(\Omega)$ при известных (определенных) Ω и C_p . При условии, что C_p – скалярная функция на множестве Ω , в итоге поставленная задача будет сведена до проведения оптимизации.

Однако учитывая, что рассматривается образовательный процесс, а в нем – группы участников с различными интересами, следует предусмотреть возникновение альтернатив оптимальному решению с позиции отдельного участника или отдельной группы. В данном случае принцип оптимальности будет рассматриваться через альтернативы с множества $C_p(\Omega)$. Чтобы учесть свойства каждой из полученных альтернатив, их необходимо представить на схеме процесса принятия решения для практического анализа данных управления образовательным учреждением. Подобное можно реализовать, представив определенные свойства альтернатив из начального множества через $\varphi: \Omega \rightarrow E_1$. Отдельное свойство будет представлено как критерий, а φ выступит числом оценки некоторой альтернативы x . При этом свойства можно сгруппировать, поскольку так легче осуществлять их учет.

Принимаем, что свойства выражены k_1, \dots, k_m , а пара (Ω, P) – критерии. Критериальное пространство в этом случае может быть представлено как E_m , с координатами-оценками по каждому входящему в пространство критерию. Прикладные результаты будут иметь вид алгоритмов.

Практическая реализация при объектно-ориентированном подходе может быть выполнена в Object Pascal. С проведением инкапсуляции можно ограничить доступ к отдельным полям объекта, а также реализовать записи новых свойств объекта или чтения свойств для получения результатов. Объединяя отдельные объекты посредством классов, можно добавлять новые поля, свойства, методы к уже существующим и получать новые классы с наследуемыми свойствами. Это позволяет в итоге получать обобщение оценок по сформированным группам участников образовательного процесса, оперируя не просто понятиями «преподаватель» или «студент», а рассматривая взаимосвязь отдельных объектов через призму качества взаимодействия в образовательном процессе. Расширение возможностей использования различных методов для обработки результатов по классам возможно с помощью полиморфизма, когда используются одинаковые имена для методов. Тогда элементы массива, который обрабатывается системой поддержки принятия решений, будет содержать одновременно объекты «Студент» и «Преподаватель», но методы будут применяться в зависимости от типа объекта.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим один из процессов возможной оценки эффективности управления образовательным процессом по показателю успеваемости студента высшего учебного заведения. Этот показатель может быть установлен как «средний балл» или «высший балл», то есть рассматривается заданная оптимальность. Также можно осуществить сортировку по уровню успеваемости и представить визуализацию показателей по группе, курсу, факультету.

Схема процесса принятия решения для практического анализа данных может быть представлена следующим алгоритмом:

1) формируется некоторое множество с первичными данными для решения задачи выбора результата по принципу не «оптимальный, а лучший». Этот шаг позволяет оценить эффективность управления образовательным учреждением. Участники образовательного процесса будут выступать в качестве объектов исследования, а выполнение ими задач рассматривается как возможности и альтернативы действий, которые могут в данном случае выступать ограничениями;

2) формируется некоторое множество альтернатив, выступающих универсальными (Ω_y) для решения поставленной задачи. В этом случае формируется выбор (Ω_y, P_1) с присутствием оптимальности в условиях допустимости;

3) формируется множество $\Omega = C_{p1}(\Omega_y)$ с исходными альтернативами, учитывающее как всех участников образовательного процесса, так и тех, которые удовлетворяют некоторым требованиям, позволяющим осуществить отбор;

4) непосредственно выбор, в котором или известно Ω_p , и на основе этого решение выводится по принципу оптимальности, или же Ω_p не известно, решение представляется как множество на основе перебора пар (Ω, P) до оценки, соответствующей определенному критерию.

Все изложенное можно представить в виде блок-схемы (рис. 1).

В приведенной на рис. 1 схеме можно увидеть, как объекты объединяются в класс с описанным свойством, где и определяется алгоритм для работы с этими объектами. На практике более частым является вариант решения, для которого эффективность отдельной операции необходимо оценить по ряду показателей k .

Относительно задачи, поставленной в данном исследовании, в качестве примера можно назвать следующее:

1. Оценка деятельности вуза: рейтинг преподавателей, публикационная активность, успешность студентов, отзывы выпускников с оценкой по критерию эффективности;
2. Оценка обучения конкретного студента: показатели, средний балл, активность;

3. Контрольный срез знаний: высший балл студентов, вероятность выполнения всех поставленных задач студентом, оценка методических материалов, разработанных преподавателем, рейтинг преподавателей в зависимости от уровня успеваемости студентов по его дисциплине и т.д.

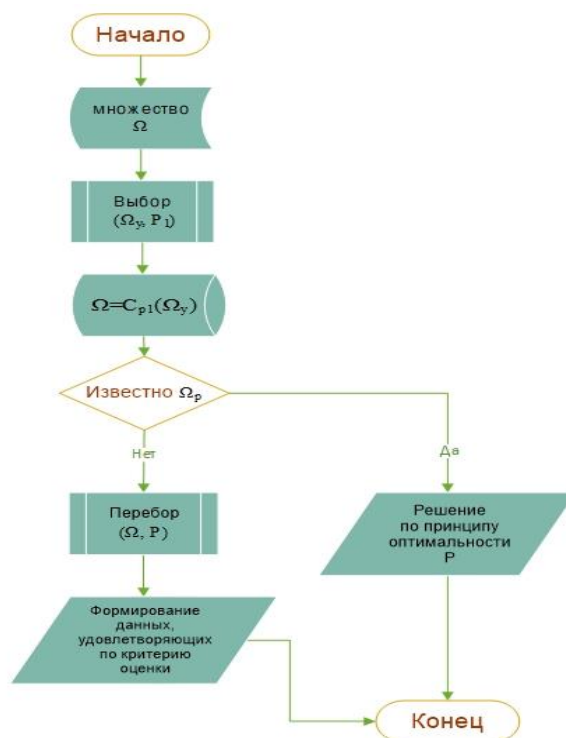


Рисунок 1. Блок-схема процесса принятия решения для практического анализа данных

Примечание – составлено авторами

Для получения одних показателей необходимо произвести исследования и получить данные по разным параметрам, характеризующим ситуацию. Другие показатели могут быть получены на основе имеющихся типичных документов работы вуза (ведомости успеваемости, результаты прохождения практики, бухгалтерские документы и др.). Но чем больше объем сложных операций, тем сложнее обеспечить их эффективность. Охарактеризовать подобную систему с помощью одного показателя невозможно: следует использовать различные показатели, позволяющие оценить систему многоаспектно. Однако требования к таким показателям не могут быть одинаковы, зачастую они даже противоречивы или несовместимы по ряду критериев. Например, задавая $\max k_1$ никакие другие показатели не будут рассматриваться по максимуму или по минимуму. Поэтому оценка работы вуза через требование достижения максимального эффекта представляется некорректной и требующей формулировок с конкретизацией. Например, получение максимального эффекта при обучении студентов дисциплине А при минимизации затрат на расходные материалы.

Чтобы сравнить векторы $k = (k_1, k_2, \dots, k_L)$ через их значения можно привести показатели k_1, k_2, \dots, k_L к некоторому стандартному виду с минимизацией критериев. Критерий может считаться стандартным, если его показатель стремится к нулю. В этом случае возникает меньше операций в системе, то есть идеальным решением является $k_i = 0$. В

случае наличия нестандартных показателей можно привести их к стандартному виду с помощью классического подхода:

- а) если $k_i \rightarrow \max$, то $k_i^{ct} = k_i^{\max} - k_i$;
- б) если $k_i^{\max} = \infty$, то $k_i^{ct} = 1/k_i$.

Стандартный критерий при этом может быть представлен в виде отношения с идеальным значением критерия в знаменателе. То есть если представить критерий в виде вектора, то он будет изменяться на промежутке от 0 до 1, в идеальном случае – быть равным 0.

Учитывая изложенное, алгоритм принятия решения для практического анализа данных по ситуации, которая имеет два и более показателей, может быть представлен следующим образом:

- 1) задаются показатели, по которыми будет произведена оценка. Например:
 k_1 – вероятность получения высшего балла по результатам итогового среза знаний;
 k_2 – затраты труда профессора на проведение и выполнение практических работ по предмету;
- 2) определяется область значений для каждого показателя;
- 3) формируется массив различных вариантов решений и осуществляется выбор решения. На этом этапе через область допустимых решений можно получить промежуточный результат для формирования критериального пространства решений;
- 4) соотносятся значения с векторами, на основе этого происходит заполнение критериального пространства решений;
- 5) при оценивании одной операции несколькими критериями производится классическое действие по вычислению стандартных критериев:

$$k=(k_1, k_2, \dots, k_L) = \bar{f}(X, A) \rightarrow 0,$$

$$\varphi_i(X, A) \leq 0, i = 1..m ;$$

б) производится оценка альтернатив по векторам. На этом шаге может возникнуть задача оценки альтернатив при наличии более двух критериев. Для этого производится сравнение компонентов векторов. В частности, при условии, что компоненты двух векторов безусловно сравнимы, выполняются неравенства $k_i^A \geq k_i^B$, по компонентам этих векторов при $i=1, 2, 3, \dots, L$. При всех $k_i \rightarrow 0$ выбирается оптимальная альтернатива, остальные альтернативы отвергаются. Если же знаки неравенств различны для компонент векторов, то такие вектора сравнить невозможно. Для решения подобной задачи следует внести изменения в массив альтернатив и провести расчеты с последующим сравнением по другим критериям.

Пример реализации данного алгоритма следующий: выбираем лучших по успеваемости студентов (обозначены буквами кириллического алфавита) по оценкам, которые выставили преподаватели по своим предметам (обозначены буквами латинского алфавита) (табл. 1).

При безусловном сравнении векторов оценок можно получить ответ, что следует отвергнуть студентов под буквами В и Д, поскольку первые не сравнимы с Б и А, а вторые хуже Б. Однако А также хуже Г, поэтому и его исключаем из рассмотрения. Две альтернативы – студенты под буквами Б и Г – несравнимы. Они – множество компромиссов. То есть при реализации алгоритма следует отбросить явно нерациональные варианты, оставив только наиболее перспективные решения по всем имеющимся критериям.

Таблица 1. Соотношение студентов и оценок по различным дисциплинам

| | М | Н | О | Р |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| А | 4 | 4 | 5 | 3 |
| Б | 5 | 5 | 4 | 3 |
| В | 4 | 5 | 3 | 3 |
| Г | 5 | 4 | 5 | 4 |
| Д | 4 | 5 | 4 | 3 |

Примечание – составлено авторами

Программная реализация подобного может быть представлена с помощью языка программирования Object Pascal и правил объектно-ориентированного программирования. В данном случае программное решение можно реализовать с поддержкой принципов инкапсуляции, наследования и полиморфизма. В этом случае интерфейсная секция может быть представлена следующим кодом:

- интерфейс класса TPersona;

```
TPersona = class
private
  fFamily : string;    // фамилия
  fName   : string;    // имя
  fSecondName : string; // отчество
  fCity   : string;    // город
  ...
                    // учебное заведение, роль,
                    // критерии оценивания и другие
                    // показатели, необходимые для
                    // сравнения
protected
  constructor Create (rec : TRecord);
  function GetInfo : TRecord; virtual;
  procedure CorrectionInfo (rec : TRecord); virtual;
                    abstract;
end;
```

- интерфейс класса TStudent;

```
TStudent = class (TPersona)
private
  fGroupe : integer; // группа
  fKurs   : integer; // курс
  ...
                    // факторы для сравнения
protected
  constructor Create(rec : TRecord);
  function GetInfo : TRecord; override;
  procedure CorrectionInfo (rec : TRecord); override;
end;
```

```
- интерфейс класса TProfessor;  
TProfessor = class (TPersona)  
  private  
    fKafedra : string; // кафедра  
    fPost   : string; // должность  
    ...     // факторы для сравнения  
  protected  
    constructor Create(rec : TRecord);  
    function GetInfo : TRecord; override;  
    procedure CorrectionInfo (rec : TRecord); override;  
end.
```

А собственно реализация предложенных классов может быть представлена следующим образом:

```
var List_Persona : TList; // объект - список всех персон  
    //каждый элемент списка - экземпляр класса TPersona)  
  
// номер текущей записи (объекта) в списке List_Persona  
current_Number : integer.
```

Представленный подход к программной реализации метода поддержки принятия решений позволяет проверять корректность значений, которые присваиваются свойствам, устанавливать свойства других полей при соблюдении процедуры безопасности системы поддержки принятия решений, в частности изменять свойства полей пользователям.

Следует отметить, что концепция данного подхода применительно к выбору решения была заложена еще в работе Саати (1993), однако через множества, а не разбиение на объекты и классы с прописыванием решения по векторам. Если же использовать при данном подходе нечеткие множества, как это было сделано в работе Khedhaouria & Cuschi, (2019), то задача будет решена с помощью теории вероятности. При этом ответ будет случайной величиной, что не приемлемо для анализа данных образовательного процесса.

Полученный результат, представленный в табл. 1, подтверждает данные исследования Bao et al. (2021) в отношении восприятия информации, обработанной с помощью информационных технологий. Однако полученные результаты значительно расширяют работу Bao et al. (2021) и дополняют работу York et al. (2019), поскольку позволяют рассмотреть процесс преобразования данных, полученных в результате анализа деятельности учебного учреждения, через алгоритмы соотношений и выбора с использованием определенных критериев. Четкое определение критериев в этом случае позволяет не просто обработать информацию, а рассортировать ее по определенным массивам данных, которые в дальнейшем могут быть использованы для углубления анализа по рассматриваемому вопросу, например, дополняя и углубляя работу Hendriks et al. (2020).

Представленный программный код является возможным частным решением для поставленных в работе задач. Это является ограничением исследования, поскольку, как и алгоритм, представленный на рис. 1, акцентирован на особенностях принятия решений в учебном заведении. Однако практическое применение полученных результатов не ограничено кругом образовательных организаций. Подобный подход может применяться в системах поддержки принятия решений на предприятиях торговли или сферы питания, когда стоит задача определить эффективность управления по критериям удовлетворенности клиента отдельными характеристиками товара. Но в этом случае в модель необходимо ввести экономическую составляющую для установки критерия оптимальности.

Перспективой данного исследования выступает разработка модели анализа результатов с оценкой неопределенности и рисков, что даст возможность алгоритмизации прогнозирования развития учебного учреждения, совершенствования образовательного процесса, что в итоге позволит студентам более четко формировать индивидуальную образовательную траекторию. В итоге государство будет получать молодых специалистов с более высоким уровнем подготовки, готовых к решению сложных практических задач.

Заключение. Системы поддержки принятия решений являются распространёнными в технологии управления предприятиями. Однако в сфере образования цифровизация процессов началась относительно недавно, поэтому и создание систем поддержки принятия решений, учитывающих особенности образовательного процесса и образовательной услуги, как таковой, является актуальной задачей, требующей неординарных решений.

В данной работе была подтверждена поставленная гипотеза и доказано, что при решении задач автоматизации анализа данных образовательного процесса можно применить метод, который основан на управлении объектами и классами, используемый при объектно-ориентированном подходе, где свойства объекта анализируются через вариант решения и его оптимальность.

В частности, схема процесса принятия решения для практического анализа данных управления образовательным учреждением может быть разработана, а затем алгоритмизирована посредством формирования множеств первичных данных для поиска наилучшего результата и альтернатив, где решение принимается на основе выбора по принципу оптимальности, если установлен оптимальный вариант, и перебора данных до получения результата, соответствующего данным на входе. Однако если эффективность какого-либо шага приходится оценивать по ряду показателей, то алгоритм автоматизации представляет собой анализ решений за векторами с выбором из массива различных вариантов.

Итогом работы является демонстрация алгоритма на примере соотношения студентов и оценок по предметам, которые читают разные профессора, а также представление особенностей программной реализации при объектно-ориентированном программировании с помощью языка программирования Object Pascal. Приведены фрагменты кода элементов объектной модели с поддержкой принципов инкапсуляции, наследования и полиморфизма.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Bao, Z., Li, W., Yin, P., Chau, M. (2021). Examining the impact of review tag function on product evaluation and information perception of popular products. *Information Systems and E-Business Management*, 19(2), 517–539, <https://doi.org/10.1007/s10257-021-00532-5>.
- Bertheau, P., Denize, T., Calvani, J., Gardair, C., Jacquier, A., Razafimahefa, J., ... & Valmary-Degano, S. (2019, January). Large scale teaching in pathology. In *Annales de Pathologie* (Vol. 39, No. 2. – Pp. 144-150), <https://doi.org/10.1016/j.annpat.2018.12.009>.
- Emadi, A., Lipniacki, T., Levchenko, A., Abdi, A. (2023). Single-Cell Measurements and Modeling and Computation of Decision-Making Errors in a Molecular Signaling System with Two Output Molecules. *Biology*, 12(12), <https://doi.org/10.3390/biology12121461>.
- Hendriks, R.A., de Jong, P.G., Admiral, W.F., Reinders, M.E. (2020). Instructional design quality in medical massive open online courses for integration into campus education. *Medical Teacher*, 42(2), 156-163, <https://doi.org/10.1080/0142159X.2019.1665634>.
- Hengstler, S., Kuehnel, S., Masuch, K., Nastjuk, I., Trang, S. (2023). Should i really do that? Using quantile regression to examine the impact of sanctions on information security policy compliance behavior. *Computers & Security*, 133, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103370>.

- Khedhaouria, A., Cucchi, A. (2019). Technostress creators, personality traits, and job burnout: A fuzzy-set configurational analysis. *Journal of Business Research*, 101, 349–361, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.04.029>.
- Siebert, J.U., Kunz, R.E., Rolf, P. (2021). Effects of decision training on individuals' decision-making proactivity. *European Journal of Operational Research*, 294(1), 264–282, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.01.010>.
- Skrimizea, E., Haniotou, H., Parra, C. (2019). On the 'complexity turn' in planning: An adaptive rationale to navigate spaces and times of uncertainty. *Planning Theory*, 18, 122–142, <https://doi.org/10.1177/1473095218780515>.
- Wyrick, D.L., Tanner, A.E., Milroy, J.J., Guastaferrero, K., Bhandari, S., Kugler, K.C., Thorpe, S., Ware, S., Miller, A.M., Collins, L.M. (2022). "itMatters": Optimization of an Online Intervention to Prevent Sexually Transmitted Infections in College Students. *Journal of American College Health*, 70(4), 1212–1222, <https://doi.org/10.1080%2F07448481.2020.1790571>.
- Wang, W.Y. (2021). Research on college ideological and political education—based on MOOC online platform // *Journal of Hong He University*, 19(01), 100–102, <https://doi.org/10.13963/j.cnki.hhuxb.2021.01.025>.
- York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. (2019). Applications of systems thinking in STEM education // *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742–2751, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00261>.
- Yu, H. L. (2020). Exploration and practice of collaborative teaching model of thematic rotation of Ideological and Political courses in universities—from the perspective of structural reform of teaching paradigm. *Jiangsu Higher Education*, 06, 115–119, <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10755-1>.
- Zietz, S., Lansford, J.E., Liu, Q., Long, Q., Oburu, P., Pastorelli, C., Sorbring, E., Skinner, A.T., Steinberg, L., Tapanya, S., Tirado, L.M.U., Yotanyamaneewong, S., Alampay, L.P., Al-Hassan, S.M., Bacchini, D., Bornstein, M.H., Chang, L., Deater-Deckard, K., Di Giunta, L., et al. (2022). A longitudinal examination of the family stress model of economic hardship in seven countries. *Children and Youth Services Review*, 143, <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2022.106661>.
- Гаранин М.А., Сандлер Д.Г. (2020). Система поддержки принятия управленческих решений в университете на примере группы процессов «Наука и инновации». *Перспективы науки и образования*, №3 (45), 527–543. // Garaniin M.A., Sandler D.G. (2020). Sistema podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij v universitete na primere gruppy processov «Nauka i innovacii». *Perspektivy nauki i obrazovaniya*, №3(45), 527–543, <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-podderzhki-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy-v-universitete-na-primere-gruppy-protsessov-nauka-i-innovatsii>.
- Карканица А.В. (2019). Модели, алгоритмы и технология построения адаптивных систем поддержки принятия решений: автореф. дис. канд. техн. наук. Белорусский государственный университет. *Karkanica A.V. Modeli, algoritmy i tekhnologiya postroeniya adaptivnyh sistem podderzhki prinyatiya reshenij: avtoref. dis. kand. tekhn. Nauk. Belorusskij gosudarstvennyj universitet*, <https://elib.grsu.by/doc/61438>.
- Саати, Т. (1993). Принятие решений. Метод анализа иерархий. Радио и связь // Saati, T. (1993). *Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij. Radio i svyaz*. <https://studfile.net/preview/1417042/>

Information about authors

Gulnaz Zunimova (Corresponding author) – Master of Science, Assistant professor of the Department of Information Systems, Faculty of Computer Systems and Vocational Education, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana city, Kazakhstan. E-mail: gulnazzunimova06@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1571-7111, +7 701 700 10 96

Gulzhan Soltan – PhD, Associate professor, Director of Academic Department, Astana IT University, Astana, Kazakhstan. E-mail: gsoltan@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1603-7524, +7 777 226 11 98

Dzmitry Likhachevski – PhD, Associate professor, Dean of the Faculty of Computer-Aided Design, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus. E-mail: likhachevskyd@bsuir.by, ORCID: 0000-0002-9944-4036, +37 529 145 34 36

Aisulu Ismailova – PhD, Associate professor of the Department of Information Systems, Faculty of Computer Systems and Vocational Trai, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: a.ismailova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8958-1846, + 8 701 460 60 49

Gulnur Issakova – PhD, Senior Lecturer of the Department of Information Systems, Faculty of Computer Systems and Vocational Trai, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: is_gul_oral@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7272-4786, +7 775 451 88 22.

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_143
MPHTI 4.25.07

А.А. Кульжанова¹, Е.Т. Рамазанов²

Алматы Менеджмент Университет, г. Алматы, Казахстан

¹E-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com*

²E-mail: e.ramazanov@almau.edu.kz

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНТРОПИИ И УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ОНЛАЙН- И ОФФЛАЙН-ОБУЧЕНИИ. ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

ОНЛАЙН ЖӘНЕ ОФЛАЙН ОҚЫТУДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ТАЛДАУ ЭНТРОПИЯСЫ МЕН ҮЛГЕРІМІН САЛЫСТЫРУ. ПЕДАГОГИКАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENTROPY AND PERFORMANCE OF STUDENTS IN ONLINE AND OFFLINE LEARNING. PEDAGOGICAL ASPECTS

Аннотация. С переходом на онлайн-режим в результате пандемии COVID-19 учебный процесс претерпел изменения. Появились трудности в виде ряда проблем технического, организационного, методологического, психологического характера. В статье приводится анализ результатов наблюдения для проверки гипотезы о зависимости эффективного обучения от режимов учебного процесса. Приводится статистический анализ гипотезы на основе измерения энтропии учебного материала, представленной в различных режимах. Также представлены обобщения результатов исследования с другими исследованиями, сделанными в области педагогических измерений (прикладной статистики). В результате исследования были получены статистические обоснования того, что в режиме оффлайн энтропия обучения и успеваемости больше в сравнении с онлайн-режимом. Приводятся рекомендации по результатам исследования. Даны предварительные оценки влияния перехода на онлайн-обучение в период пандемии COVID-19 на усиление дифференциации доступа к качественному образованию и результатам обучения.

Ключевые слова: энтропия обучения, успеваемость, проверка гипотезы, тест, критерий.

Аңдатпа. COVID-19 пандемиясының нәтижесінде онлайн режимге көшумен оқу процесі өзгерді. Қиындықтар техникалық, ұйымдастырушылық, әдістемелік және психологиялық сипаттағы бірнеше мәселелер түрінде пайда болды. Мақалада тиімді оқытудың оқу үрдісінің режимдеріне тәуелділігі туралы гипотезаны тексеру үшін бақылау нәтижелеріне талдау берілген. Әртүрлі режимдерде ұсынылған оқу материалының энтропиясын өлшеуге негізделген идеяның статистикалық талдауы берілген. Педагогикалық өлшемдер саласында жасалған басқа зерттеулермен зерттеу нәтижелерін жалпылау да берілген. (қолданбалы статистика). Зерттеу нәтижесінде офлайн режимде оқытудың энтропиясы мен оқу үлгерімі онлайн режимімен салыстырғанда ең үлкен болатыны туралы статистикалық негіздемелер алынды. Зерттеу нәтижелері бойынша ұсыныстар беріледі. COVID-19 пандемиясы кезінде онлайн оқытуға көшудің сапалы білім мен оқу нәтижелеріне қолжетімділікті саралауды күшейтуге ықпалының алдын ала бағалауы келтірілген.

Түйін сөздер: Оқыту энтропиясы, өнімділік, гипотезаны тексеру, тест, критерий.

Abstract. With the transition to online mode as a result of the COVID-19 pandemic, the learning process has changed. Difficulties appeared in the form of several problems of a technical, organizational, methodological, and psychological nature. The article provides an analysis of the observation results to test the hypothesis about the dependence of effective learning on the modes of the educational process. A statistical analysis of the idea based on the measurement of the entropy of educational material presented in various modes is given. Generalizations of the results of the study with other studies made in the field of pedagogical measurements are also presented. (applied statistics). As a result of the study, statistical justifications were obtained that in the offline mode, the entropy of learning and academic performance is the largest in comparison with the online mode. Recommendations based on the results of the study are given.

Preliminary estimates of the impact of the transition to online learning during the COVID-19 pandemic on strengthening the differentiation of access to quality education and learning outcomes are given.

Keywords: *Entropy of learning, performance, hypothesis testing, test, criterion.*

Введение. Образование является фундаментальным аспектом человеческого развития, и его важность невозможно переоценить. Образование дает людям знания, навыки и инструменты, необходимые им для достижения успеха в жизни, как в личном, так и в профессиональном плане. Это позволяет людям понимать окружающий мир, эффективно общаться с другими и принимать обоснованные решения, основанные на доказательствах и критическом мышлении. Образование также играет значимую роль в содействии социальному и экономическому прогрессу, имеет решающее значение для поощрения социальной мобильности и сокращения неравенства, поскольку оно дает людям возможность улучшить свои жизненные шансы и разорвать порочный круг бедности.

Появление технологий и Интернета изменило то, как мы учимся. Традиционные очные занятия в классе были заменены платформами онлайн-обучения, которые сделали образование более доступным и удобным для многих учащихся. Однако есть существенные различия в освоении учебных материалов в онлайн- и оффлайн-режимах. В этой статье мы рассмотрим эти различия и их влияние на процесс обучения.

Экстренный массовый переход образования на удаленный режим в связи с пандемией COVID-19 породил ряд проблем технического, организационного, методологического, психологического характера. Эти проблемы рассматриваются и международным сообществом, и отечественными исследователями. Не менее важна и оценка последствий продолжительного обучения в удаленном формате для качества образования и равенства доступа к образованию. Сегодня все больше людей понимают значимость образования и самообразования. В реальных условиях современного мира актуальность онлайн-обучения растет, но мы не можем утверждать, что онлайн-обучение дает 100 % результат в освоении дисциплины и материала, так как есть много факторов, влияющих на понимание и усвоение материала. Сейчас работодатели все реже требуют дипломы, чаще – разные сертификаты. Актуальность так называемого очного – оффлайн образования падает.

Сложно сказать, будет ли в будущем актуально очное образование, если удобнее получить знания и опыт в той или иной сфере с помощью различных онлайн-курсов.

Наблюдение и исследование обучающейся среды всегда было актуальной темой для педагогических исследований. За последние годы, в связи с действием COVID-19, обучение в нашем университете проходило вместе с дистанционным обучением в различных режимах.

Мы попытались разобраться в данной ситуации и рассмотреть опыт каждого вида образования – оффлайн и онлайн на реальных экспериментальных результатах. В статье мы различаем дистанционные технологии обучения от онлайн, при этом ориентируясь на опыт применения смешанных режимов, среди которых был режим онлайн.

Литературный обзор. В поле зрения нашего педагогического сообщества неоднократно появлялись проблемы эффективного обучения в режиме онлайн с участием преподавателя. Обсуждались различные методы и приемы, «совместимые» с онлайн-режимом, такие как, метод перевернутого класса или flip-methods. Рассматривался и международный опыт. В данном разделе был проведен обзор результатов исследований других педагогов в области педагогического мастерства и измерений по аналитическому сравнению различных режимов. В результате обзора мы нашли богатый накопленный зарубежный и отечественный опыт по нашему вопросу. Наш вывод получился неоднозначным, так как прямых исследований зависимости от режима обучения или влияния режима обучения на результаты обучения среди них оказалось наименьшее

количество. Многие авторы в своих исследованиях обращали внимание на другие факторы, и только в некоторых работах режим обучения рассматривался как сопутствующий или пренебрежительно мало влияющий на конечный результат фактор.

Анализируя идеи изучаемой науки, делаются следующие выводы относительно профессиональной остроты. Приведём примеры исследований.

В работе Андриюшковой рассматривается энтропийный подход как метод оценки качества педагогического процесса и как метод прогнозирования результатов обучения (Andryushkova, 2018). Энтропию составляют следующие основные элементы: термодинамика, теория информации и другие области, изучающие энтропию. Обсуждается связь энтропии с понятиями неопределенности, хаоса и предсказуемости систем. Предлагается использовать показатель негэнтропии, также называемый обратной энтропией, для оценки прогнозируемости и упорядоченности образовательного процесса. Рассматривается классификация критериев обучения в зависимости от их способности увеличивать или уменьшать прогнозируемость процесса (энтропия/негэнтропия).

Авторы работы «Энтропийный подход в системе формирования оценки модели выпускника педагогического вуза» предлагают использовать энтропийный метод для оценки качества студентов в соответствии с современными стандартами высшего образования (Mospan, Timoshenko, 2017). Это предполагает создание шкалы допустимых значений энтропии: разным уровням энтропии присваиваются баллы, а максимальный уровень может привести к разрушению системы. Доступ к ключевым показателям, отражающим профессионально значимые качества (компетенции), позволяет выявить отклонения от запланированного состояния и скорректировать действия участников образовательного процесса.

Работа «Методика разработки диагностических средств оценки уровня сформированности профессиональных компетенций студентов технического вуза» показывает, как используются методы расчета энтропии для определения степени развитости профессиональных способностей студентов (Gabdrakhmanova, 2015). Энтропия определяется для различных категорий – способностей на основе вероятности конкретных результатов. Например, в работе описано, как рассчитать энтропию различных групп способностей, меньшее значение энтропии указывает на большую степень обучения и развития способностей.

В работе «Регулирование энтропии и информации среды среднего математического образования» обсуждается использование энтропии и информации в математическом образовании для регулирования сложности окружающей среды (Roganovskaya, 2022). Понятия энтропии и информации исследуются как меры беспорядка и организации в системе. Основными понятиями, используемыми для описания сложности среды математического образования, являются энтропия и информация. Энтропия представляет собой дезорганизацию и беспорядок, а информация представляет организацию и порядок.

Работа «Инновации в образовательной среде с использованием информационной энтропии» рассматривает использование информационной энтропии и методов Монте-Карло в контексте образовательных инноваций (Khakimova & Gerasimov, 2014). В работе обсуждается понятие информационной энтропии и ее связь с управлением качеством технических процессов, подчеркивая необходимость эффективной трансформации российской системы образования, а также говорится о применении математических моделей и статистических методов для оценки качества технических процессов, отражающее междисциплинарный подход.

В своей работе Коровко отмечает благоприятные условия взаимодействия онлайн-режима на общую успеваемость обучающихся (Korovko, 2021). В самую первую очередь

нужно понять, какие плюсы есть у онлайн-обучения. Онлайн-обучение – это гибкая система обучения, которая помогает обучающимся получать знания исключительно при помощи Интернета на компьютере дома или в любом другом месте, которое они считают нужным. Более того, личные встречи между преподавателем и студентом не требуются, что позволяет студентам учиться в любой точке мира.

В работе Ларсона и Санга рассматривается положительная сторона офлайн-обучения, где учащийся должен посещать занятия и работать с преподавателем в реальном режиме (Larson & Sung, 2009). Учащимся не нужно тратить время на разборы различных заданий и можно получить достоверный факт или разъяснение условия от преподавателя. Одним из ключевых отличий онлайн-обучения от офлайн является гибкость расписания занятий. В случае офлайн-обучения необходимо физически присутствовать в учебном заведении в определенное время.

Еще одним существенным различием между онлайн- и офлайн-обучением является уровень взаимодействия между студентом и преподавателем. При офлайн-обучении студент имеет прямой доступ к преподавателю, который может оказывать поддержку и руководство. В отличие от этого, онлайн-обучение часто проходит в асинхронном режиме, что ограничивает возможности взаимодействия со студентами и получения индивидуальной помощи. Это может затруднить понимание сложных концепций и получение необходимой поддержки.

Несколько исследований подтверждают, что взаимодействие преподавателей со студентами оказывает значительное влияние на их восприятие процесса обучения. Отмечается, что последовательность разработки курса, способность преподавателей взаимодействовать с обучаемыми, стимулируя их к развитию критического мышления и умения обрабатывать информацию (Kulik, Kulik & Cohen, 1980), (Newlin, Lavooy & Wang, 2005), (Muthuprasad, Aiswarya, Aditya & Jha (2021), уровень интерактивности в онлайн-среде (Bartley & Golek, 2004), (Bhatti, Jones, Richardson, Foreman, Lund & Tierney, 2011), (Porter, Pitterle & Hayney, 2014), взаимодействие в процессе обучения и гибкость онлайн-обучения (Assadi, Mofidi, Rezai, Hafezimoghadam, Maghsoudi, Mosaddegh & Aghdam, 2015) – все это играет важную роль в повышении качества образовательного процесса.

Эксперты Национального центра исследований в области профессионального образования выделили несколько ключевых компетенций, необходимых для успешного онлайн-обучения, таких как социальное взаимодействие, академическая саморегуляция и умение работать с технологиями (Dahalan, Hassan & Atan, 2012), (Johnson, Aragon & Shaik, 2000), (Bettinger, Fox, Loeb & Taylor, 2017).

Следовательно, эффективность онлайн-обучения зависит от хорошо структурированного учебного материала (Vaughan, Reali, Stenbom, Van Vuuren & MacDonald, 2017), (Sharpe & Benfield, 2005), квалифицированных преподавателей (Li, Xiong, Zang, Kornhaber, Lyu, Chung & Suen, 2016), (Ben-David, Kushilevitz & Mansour, 1997), использования передовых технологий для обратной связи и четких инструкций (Kent, Rechavi & Rafaeli, 2019). Однако в литературе отмечают и недостатки онлайн-обучения. Исследования показывают, что онлайн-обучение может сопровождаться следующими проблемами: задержка в ответах, скептицизм по отношению к опыту своих сверстников, отсутствие чувства общности или чувство изоляции, трудности в сотрудничестве с однокурсниками, технические проблемы, высокий уровень отсева студентов, необходимость большей дисциплины, а также навыков письма и самомотивации.

Материалы и методы исследования. Во время второй недели офлайн-занятий по дисциплине «Информационно-коммуникационные технологии» студенты учились разбирать и собирать системный блок компьютера, используя реальное оборудование. Эта

практика позволила студентам нетехнических специальностей познакомиться с различными компонентами системного блока и научиться выполнять процесс разборки и сборки в реальном времени. Это дало им ценный опыт, который отличается от онлайн-обучения и является одним из преимуществ офлайн-формата. Организация разборки и сборки системного блока в формате онлайн оказалась более сложной. Было необходимо разработать эффективный метод передачи методического материала, и встал вопрос о том, как наглядно представить основные элементы системного блока, чтобы привлечь внимание студентов к изучаемому материалу. Несмотря на различия, в форматах онлайн- и офлайн-обучения есть свои преимущества и недостатки. Онлайн-обучение предлагает большую гибкость и удобство, в то время как офлайн-обучение обеспечивает более четкую структуру и ответственность. В итоге выбор наиболее эффективного режима обучения будет зависеть от индивидуальных стилей обучения, предпочтений и целей студентов.

Для проведения анализа были отобраны две группы со схожими параметрами. Обе группы изучали дисциплину «Информационно-коммуникационные технологии» в течение двух недель, включая лекции и семинары. Первая группа училась онлайн, вторая группа – офлайн. По окончании второй недели обе группы прошли тестирование. Содержание теста было одинаковым для обеих групп.

Рассмотрим схему исследования. Наблюдаются две группы (потока) с различными режимами обучения. Структура групп примерно одинакова. В каждой группе (потоке) по 32 человека, но количество по режимам обучения и гендерному распределению различно:

- 1) общее количество мальчиков, обучающихся в разных режимах составляет 35 человек:
 - а) онлайн – 17 человек;
 - б) офлайн – 18 человек.
- 2) общее количество девочек, обучающихся в разных режимах составляет 29 человек:
 - а) онлайн – 15 человек;
 - б) офлайн – 14 человек.

Подробное структурное распределение наблюдаемых групп (потоков) приводится на рисунке (Рис. 1).

Средний возраст по группам (потокам) различается незначительно. Следует отметить, что сходство по структуре наблюдаемых групп (потоков) и короткий 2-недельный период наблюдения (6-7 неделя обучения текущего семестра) являются благоприятными условиями наблюдения, так как мы можем пренебречь психофизическими и случайными факторами, влияющими на процесс обучения, считая, что все возможные процессы происходят в обеих группах (потоках) одинаково. Эмпирически было установлено, что инициативность и активность групп (потоков) также подобны. Различия пренебрежительно малы. По данным наблюдений рассчитывается величина по двум группам (потокам). Пусть это величина определяет протекание процесса обучения, другими словами, это энтропия по Больцману-Гиббсу и Шеннону. Хотя энтропия Больцмана-Гиббса и энтропия Шеннона имеют различное происхождение и применение, у них есть некоторые общие свойства, например, они являются мерой энтропии, которая увеличивается с увеличением степени беспорядка или неопределенности. Это привело к использованию термина «энтропия» в более широком смысле для описания любой меры случайности, неопределенности или беспорядка в различных областях исследований. Энтропия по Больцману-Гиббсу и Шеннону может быть представлена следующим образом:

$$\Delta S = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i , \quad (1)$$

где p_i – вероятность i -состояния.

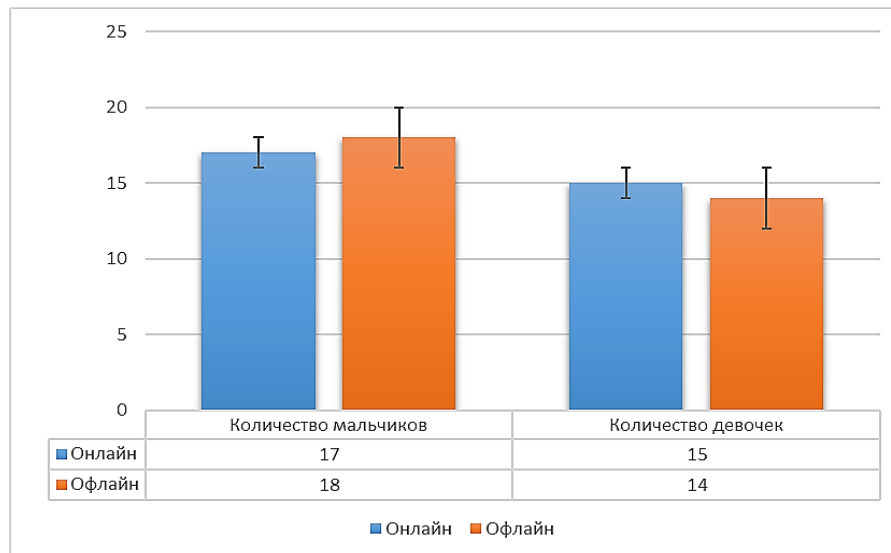


Рисунок 1. Структура наблюдаемых групп (потоков) обучения

Примечание – составлено авторами

Из формулы (1) следует, что энтропия обучения в онлайн-режиме априори выше, чем энтропия офлайн-обучения. То есть справедливо следующее соотношение:

$$\Delta S_{online} > \Delta S_{offline} . \tag{2}$$

Пусть up_i – вероятность i успеваемости группы (потока) – это функция от энтропии. Если энтропия обучения будет увеличиваться, то успеваемость группы (потока) должна пропорционально уменьшаться. Это значит, что при минимальных значениях энтропии успеваемость группы (потока) должна достигать максимальных значений. Другими словами, успеваемость группы (потока) есть убывающая функция от энтропии. Энтропия же переменная величина. Причем справедливо следующие утверждения:

$$\lim_{\Delta S \rightarrow +0} U(\Delta S) = U_{max} , \tag{3}$$

$$U(\Delta S) = 1, \Delta S = 0 , \tag{4}$$

где U – функция успеваемости.

Эта функция непрерывна около нуля. Тогда, учитывая формулу (2), возникает предположение, что успеваемость группы (потока) в режиме офлайн будет лучше, то есть ближе к единице, по сравнению с онлайн-режимом. Другими словами, справедливо ли утверждение:

$$U(\Delta S_{online}) < U(\Delta S_{offline}) \tag{5}$$

Проверим утверждение (5) на основе сравнения двух средних. Определим статистическую достоверность различия этих средних на основе проверки статистических гипотез:

$$Z = \frac{M(U_{online}) - M(U_{offline})}{\sqrt{\frac{D(U_{online})}{n} + \frac{D(U_{offline})}{m}}} \tag{6}$$

Результаты и их обсуждение. Для статистической проверки достоверности различия за нулевую гипотезу примем (7):

$$\begin{cases} H_0: M(U_{offline}) = M(U_{online}) \\ H_1: M(U_{offline}) > M(U_{online}) \end{cases} \quad (7)$$

По таблице Лапласа с уровнем значимости $p = 0,05$ критическая точка равна 1,64. Опытные данные представлены в табл. 1. Наблюдаемое значение $Z_{набл}$ рассчитано по формуле (6).

Таблица 1. Статистические показатели наблюдения

| Величина | $M(U_{offline})$ | $M(U_{online})$ | $D(U_{offline})$ | $D(U_{online})$ | $Z_{набл}$ |
|---|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------|
| Значение | 75,0938 | 63,625 | 296,4103 | 685,855 | 2,071 |
| <i>Примечание – составлено авторами</i> | | | | | |

Наблюдаемое значение больше критического значения. Согласно правилу проверки статистических гипотез, нулевая гипотеза отвергается. Появляется основание принять конкурирующую гипотезу согласно (7). Исследование показало, что есть значительное различие между средними результатами обучения в разных режимах, что подтверждает нашу конкурирующую гипотезу о том, что обучение в офлайн-режиме может быть эффективнее. Проведенный эксперимент дал нам возможность убедиться в статистической значимости этого различия. Таким образом, можно утверждать, что обучение в оффлайн-режиме позволяет быстрее достигать желаемых результатов, чем обучение в онлайн-формате при равных условиях.

Докажем, что энтропии обучения в онлайн- и оффлайн-режимах различны. Другими словами, на основе полученных результатов опыта приведем доказательство справедливости формул (2) и (5). Предположим, что успеваемость обучающихся или результаты обучения в двух режимах распределены одинаково. Тогда, согласно свойствам случайной величины энтропии, оффлайн- и онлайн-режимы должны быть равны:

$$\Delta S_{online} = \Delta S_{offline}. \quad (8)$$

Однако это математическое свойство энтропии в наблюдаемом опыте за объектами не справедливо, так как, очевидно, что результаты обучения двух различных режимов имеют не одинаковые распределения вероятностей. Другими словами, формула (8) не выполняется в виду того, что вероятности исходов двух режимов не равны. Это установлено опытным путем. Очевидно, что

$$p_{online}(i) \neq p_{offline}(i) \quad (9)$$

где i – ожидаемый исход обучения при $i = 1, 2, \dots, n$.

Определим меру различия двух режимов обучения $H(\Delta S_{online}, \Delta S_{offline})$. Для этого используем известное в теории информационных систем неравенство Гиббса. Докажем, что для меры различия двух режимов справедлива формула (10):

$$H(\Delta S_{online}, \Delta S_{offline}) > 0. \quad (10)$$

Согласно неравенству Гиббса и разложению к ряду Тейлора, мы имеем:

$$H(\Delta S_{online}, \Delta S_{offline}) = - \sum_i^n p_i \ln \left(\frac{q_i}{p_i} \right) \geq \sum_i^n p_i \left(1 - \frac{q_i}{p_i} \right) = \sum_i^n p_i - \sum_i^n q_i, \quad (11)$$

где $q_i = p_{online}, p_i = p_{offline}$.

$H(\Delta S_{online}, \Delta S_{offline}) = 0$ только в том случае, если $q_i = p_i$, что противоречит формуле (9).

Учитывая формулу (9), мы получим, что справедливо различие энтропии двух режимов обучения на основании формулы (11). Так как $H(\Delta S_{online}, \Delta S_{offline}) \neq 0$, из свойства самого неравенства Гиббса следует, что $H(\Delta S_{online}, \Delta S_{offline}) > 0$. Это значит, что различие энтропии двух режимов справедливо, что показывает и практический опыт. Таким образом установлено, что $\Delta S_{online} - \Delta S_{offline} \neq 0$, а также рассматривая полученные результаты обучения в данном эксперименте можно определить, что режим онлайн имеет больший разброс вариантов исходов по сравнению с оффлайн-режимом. Следует отметить, что на разброс может также влиять и количество обучающихся в группе. Это означает, что в нашем случае $\Delta S_{online} - \Delta S_{offline} > 0$, что в свою очередь приводит к выводу формулы (2).

На основании формулы (2) можно утверждать, что гипотеза о режиме оффлайн справедлива и для эффективного освоения учебных материалов обучающимися в процессе обучения, и для получения высоких показателей в промежуточных результатах. Обучение в режиме оффлайн дает более эффективные результаты по сравнению с онлайн-режимом.

Формула (5) установлена опытным путем на основе статистических измерений результатов опыта.

В результате проведенного опыта статистически достоверно было установлено различие между средними оценками успеваемости наблюдаемых групп (потоков). Причем, как показали результаты эксперимента режима оффлайн, у которого энтропия меньше, чем у режима онлайн, результативность лучше. Конечно, следует отметить, что данные результаты верны в заданных, конкретных условиях университета, в котором проходили наблюдения. Стоит учитывать как специфику предмета, так и каким специальностям данный предмет преподается. Здесь мы говорим, что эксперимент был проведен среди нетехнических специальностей, таких как: «международные отношения», «связь с общественностью», «менеджмент», «ресторанное дело и гостиничный бизнес» и «туризм». Для чистоты эксперимента был проведен опрос, и практически 98 % учащихся ответили, что мало знакомы с IT-технологиями и их работой в целом. Например, есть интерес проверить, какая будет успеваемость уже у технических специальностей по сравнению с нетехническими специальностями. В будущем возникает интерес проверить результаты опыта в других вузах и обобщить полученные результаты.

Заключение. В рамках педагогического исследования были получены результаты опыта по сравнению различных режимов обучения – онлайн и оффлайн. Целью исследования было определить различия результативности обучения в заданных режимах.

Эксперимент статистически показал, что в условиях конкретного университета обучение в режиме оффлайн дает лучшую результативность обучения. Это практически означает, что обучение в оффлайн-формате обычно приводит к лучшим результатам. Тема данной статьи является крайне актуальной в настоящее время, особенно в контексте современных методов обучения.

Освоение учебных материалов как в онлайн, так и в оффлайн-форматах требует различных стратегий и подходов. Понимание различий между этими методами поможет учащимся принять обоснованное решение о выборе наиболее подходящего для них формата обучения. С учетом постоянного развития технологий граница между онлайн- и оффлайн-обучением становится все более размытой, что требует от преподавателей и учащихся гибкости и адаптации к изменениям.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Andryushkova, O.V. (2018). Emergentnoye obucheniye i negentropiya obrazovatel'nogo protsessa. *Informatika i obrazovaniye*, (6), 4-10.
- Mospan, T. S., and A. I. Timoshenko. "Entropiynyy podkhod v sisteme formirovaniya otsenki modeli vypusknika pedagogicheskogo vuza." *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya* 2 (63) (2017): 109-111.
- Gabdrakhmanova, K.F. (2015). Metodika razrabotki diagnosticheskikh sredstv otsenki urovnya sformirovannosti professional'nykh kompetentsiy studentov tekhnicheskogo vuza. *Fundamental'nyye issledovaniya*, (2-15), 3361-3364.
- Roganovskaya, Ye.N. (2022). Regulirovaniye entropii i informatsii sredy srednego matematicheskogo obrazovaniya.
- Khakimova, Ye.G., & Gerasimov, M.K. (2014). Innovatsii v obrazovatel'noy srede s ispol'zovaniyem informatsionnoy entropii. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 17(1), 305-306.
- Korovko A.V. Kak izmenilas uspevaemost studentov v «distante». *Rezultaty SOP i srednii ball. // Natsionalnyi issledovatel'skii universitet «Vysshaia shkola ekonomiki»*, 17 fevralia 2021g. - <https://www.hse.ru/our/news/444619547.html>.
- Larson, D.K., & Sung, C.H. (2009). Comparing student performance: Online versus blended versus face-to-face. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 13(1), 31-42.
- Kulik, J.A., Kulik, C.L.C., & Cohen, P. A. (1980). Effectiveness of computer-based college teaching: A meta-analysis of findings. *Review of educational research*, 50(4), 525-544.
- Newlin, M.H., Lavooy, M.J., & Wang, A. Y. (2005). An experimental comparison of conventional and web-based instructional formats. *North American Journal of Psychology*, 7(2).
- Muthuprasad, T., Aiswarya, S., Aditya, K.S., & Jha, G.K. (2021). Students' perception and preference for online education in India during COVID-19 pandemic. *Social sciences & humanities open*, 3(1), 100101.
- Bartley, S.J., & Golek, J.H. (2004). Evaluating the cost effectiveness of online and face-to-face instruction. *Journal of Educational Technology & Society*, 7(4), 167-175.
- Bhatti, I., Jones, K., Richardson, L., Foreman, D., Lund, J., & Tierney, G. (2011). E-learning vs lecture: which is the best approach to surgical teaching?. *Colorectal Disease*, 13(4), 459-462.
- Porter, A.L., Pitterle, M.E., & Hayney, M.S. (2014). Comparison of online versus classroom delivery of an immunization elective course. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 78(5), 96.
- Assadi, T., Mofidi, M., Rezai, M., Hafezimoghadam, P., Maghsoudi, M., Mosaddegh, R., & Aghdam, H. (2015). The Comparison between two Methods of Basic Life Support Instruction: Video Self-Instruction versus Traditional Method. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine*, 22(5), 291-296.
- Dahalan, N., Hassan, H., & Atan, H. (2012). Student engagement in online learning: Learners attitude toward e-mentoring. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 67, 464-475.
- Johnson, S.D., Aragon, S.R., & Shaik, N. (2000). Comparative analysis of learner satisfaction and learning outcomes in online and face-to-face learning environments. *Journal of interactive learning research*, 11(1), 29-49.
- Bettinger, E.P., Fox, L., Loeb, S., & Taylor, E.S. (2017). Virtual classrooms: How online college courses affect student success. *American Economic Review*, 107(9), 2855-2875.
- Vaughan, N., Reali, A., Stenbom, S., Van Vuuren, M.J., & MacDonald, D. (2017). Blended learning from design to evaluation: international case studies of evidence-based practice. *Online Learning*, 21(3), 103-114.
- Sharpe, R., & Benfield, G. (2005). The student experience of e-learning in higher education. *Brookes eJournal of Learning and Teaching*, 1(3), 1-9.
- Li, H., Xiong, Y., Zang, X., L. Kornhaber, M., Lyu, Y., Chung, K. S., & K. Suen, H. (2016). Peer assessment in the digital age: A meta-analysis comparing peer and teacher ratings. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 41(2), 245-264.
- Ben-David, S., Kushilevitz, E., & Mansour, Y. (1997). Online learning versus offline learning. *Machine Learning*, 29, 45-63.
- Kent, C., Rechavi, A., & Rafaeli, S. (2019). The relationship between offline social capital and online learning interactions. *International Journal of Communication*, 13, 26.

Information about authors

Kulzhanova Akbota – master of natural sciences, Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: akbota.kulzhanova1594@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4667-1841, +7 777 701 11 67

Ramazanov Ermek Tlesbaevich – candidate of technical sciences, Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: e.ramazanov@almu.edu.kz

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_152
IRSTI 20.01.07

K. Maxutova¹, N. Saparkhojayev², D. Zhamangarin³, V. Golenkov⁴, R. Niyazova¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*E-mail: qunkabai@gmail.com**

E-mail: rs.niyazova@gmail.com

²Industrial University of Rudnya, Astana, Kazakhstan

E-mail: n.saparkhojayev@sci.gov.kz

³Kazakh Technology and business University, Astana, Kazakhstan

E-mail: Dus_man89@mail.ru

⁴Belarusian State University of Computer Science and radio electronics,
Minsk, Republic of Belarus

E-mail: golen@bsuir.by

**KNOWLEDGE PROCESSING TECHNOLOGIES IN THE AREA
OF COMPUTER SCIENCE**

**ИНФОРМАТИКА САЛАСЫНДАҒЫ БІЛІМДІ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ
ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАТИКИ**

Abstract. *The research paper discusses the methods of creating, applying and analyzing knowledge bases with a description of subject areas. The methods considered apply an integrated approach to knowledge representation.*

We propose an approach to developing an intelligent system designed to tackle intricate problems. This approach is built upon semantic models of knowledge bases and coherent models of machines dedicated to processing these knowledge bases. The foundation for constructing these models lies in a unified semantic representation of knowledge, grounded in universal semantics with a theoretical aspect of multiple interpretations. Using this language as a basis, we construct an open family of collaborative languages, where the meaning of each language is determined by an appropriate ontological approach.

The semantic model for machine processing of fundamental knowledge adopts the concept of multiagents, facilitating interactions among agents through shared semantic memories. This article serves as a comprehensive introduction to utilizing Protégé as a tool for ontology building in the field of computer science. It provides practical recommendations and insights into the software's advantages and limitations. Researchers and practitioners in computer science seeking a convenient and powerful tool for ontology development will find this article beneficial.

In order to more effectively develop knowledge in the field of computer science, the author defines the classification of knowledge, explains the choice of ways to develop knowledge, analyzes forms, methods of control depending on the information approach.

Keywords: *knowledge base, information technology, computer science, integrated method, knowledge development, semantic modeling.*

Аңдатпа. *Мақалада пәндік салаларды сипаттай отырып, білім қорын құру, қолдану және талдау әдістері қарастырылған. Қарастырылған әдістер білімді ұсыну үшін интеграцияланған тәсілді қолданады.*

Білім базаларының семантикалық модельдері, сондай-ақ білім базаларын өңдеуге арналған машиналардың келісілген модельдері негіз болатын кешенді сипаттағы мәселелерді шешуге бағытталған интеллектуалды жүйені құру тәсілі ұсынылды. Бұл модельдерді құрудың негізі теориялық көптік түсіндірмесі бар әмбебап семантика негізінде білімді бірыңғай семантикалық бейнелеуде жатыр. Осы тілдің негізінде бірлескен тілдердің ашық отбасы құрылады, әр тілдің мағынасы тиісті онтологиялық тәсілмен беріледі. Білімді өңдеуге арналған негізгі машинаның семантикалық модельдеуі агенттер үшін өзара әрекеттесу оған ортақ семантикалық жады арқылы жүзеге асырылады деп болжайтын көп агенттік тұжырымдамаға негізделген.

Информатика және ақпараттық технологиялар саласындағы білімді тиімдірек дамыту үшін автор білімнің жіктелуін бөліп көрсетті, білімді дамыту әдістерін таңдауды негіздеді, ақпараттық тәсілге сәйкес нысандарды, әдістерді, бақылауды қарастырады.

Түйін сөздер: білім базасы, ақпараттық технологиялар, информатика, интеграцияланған әдіс, білімді дамыту, семантикалық модельдеу.

Аннотация. В данной статье исследуются подходы к формированию, использованию и анализу баз знаний, включая описание предметных областей. Рассмотренные методы предполагают применение интегрированного подхода для представления знаний.

Предложен новый метод создания интеллектуальной системы, ориентированной на решение сложных задач. Основой этой системы являются семантические модели баз знаний и согласованные модели машин для их обработки. Эти модели строятся на общем смысловом представлении знаний, основанном на универсальной семантике с теоретической множественной интерпретацией. На основе этого подхода создается открытое семейство совместных языков, где каждый язык определяется соответствующим онтологическим подходом. Семантическое моделирование базовой машины для обработки знаний основано на многоагентной концепции, предполагающей взаимодействие агентов через общие семантические памяти.

Для более эффективного развития знаний в области информатики и информационных технологий автор выделяет классификацию знаний, обосновывает выбор методов их развития, а также рассматривает формы, методы и контроль в соответствии с информационным подходом.

Ключевые слова: база знаний, информационные технологии, информатика, интегрированный метод, развитие знаний, семантическое моделирование.

Introduction. The significance of this topic stems from the distinction between computer memory contents and human knowledge, highlighting the intricate nature of the former. Despite their complexity, computer memory contents can serve as valuable models for communication, although they do not equate to human knowledge. This fundamental understanding underpins expert systems, where the intelligent systems of today mark a natural progression in the evolution of computer systems. This evolution encompasses the representation and processing of information within computer memory models.

Problem Statement:

Exploring methods for constructing, utilizing, and analyzing knowledge bases

Analyzing the chosen subject

The aim of this article is to develop and explore a methodological framework for producing knowledge in the field of information and communication technologies. This strategy utilizes cognitive visualization techniques to investigate models of information processing.

Materials and methods of research. Knowledge processing techniques play a crucial role in enabling the engagement, depiction, and application of pervasive intelligence within metasynthesis-driven problem-solving in m-spaces. Key challenges in knowledge processing within m-spaces include:

– Mechanisms for capturing and portraying unstructured and uncertain knowledge, such as empirical knowledge residing in the minds of domain experts, involving unstructured knowledge representation and brain informatics.

– Mechanisms for acquiring and representing expert thought processes, encompassing imaginative and creative thinking in collaborative heuristic discussions.

– Mechanisms for capturing and representing group/collective interaction behaviors and their impact, involving behavior informatics and analytics.

Mechanisms for modeling learning-of-learning, which involves understanding and adapting to the behaviors of other participants resulting from self-learning or external learning, such as learning evolution and the emergence of intelligence.

Furthermore, in general open complex intelligent systems, knowledge processing entails addressing additional critical issues:

Knowledge fusion, which integrates both empirical and structured knowledge acquired, reasoned, and discovered.

Mechanisms to facilitate knowledge representation and integration into m-space through m-interaction.

Mechanisms for handling inconsistency in knowledge at the semantic level (Nguyen 2005).

Searching, retrieving, and mining structured information from unstructured or ill-structured data and information.

Adapting processed knowledge, including identified patterns and decisions, for practical applicability in real-world situations.

Development of mechanisms and systems for metasyntesis computing (m-computing), involving engineering approaches for the analysis, design, and implementation of M-Space and M-Interaction [9].

Processing knowledge and representing knowledge are the central requirements for artificial intelligence systems. Many tasks in computer science, in particular those dealing with natural and inherently noisy environments, involve high degrees of complexity in actually perceiving, understanding and transferring available information. This lecture will present methods for processing and representing knowledge from a theoretical as well as from an application-oriented perspective. Theoretical principles find practical application in various domains such as common sense reasoning, intelligent handling of imprecise or uncertain data, smart planning, language processing, and the development of intelligent agents. These agents are designed for virtual entities, real-world robots, and autonomous individuals within multi-agent systems. Current implementations of these theoretical concepts are translating into tangible advancements in knowledge-based software solutions and robotic systems, enhancing their capability to perform everyday tasks.

Books have served as the primary source of information for an extended period. The search tool acts as an individual's gateway to the repository of books. Searching for information used to be a time-consuming process because the focus was not on obtaining the entire book, but rather a specific fragment. It was challenging to articulate the connection between the desired knowledge and the book's title or author. Due to the advancement of science, the priority given to different sources of information has changed (Fedotova, E.L., 2013).

Note that the new version of Exactus has a high-performance cluster installation under the Unix operating system. ISA specialists have reworked the Exactus architecture ONCE and created a cross-platform system.

Also, to solve the problem of semantically related search, you can use Exactus, a relatively recent search engine that appeared in 1998. What existed at that time in the search giants—Altavista and Inktomi. Currently, Google and Fast have the largest number of indexed pages (more than 2 billion).

In the next few months, Google search engines will acquire new features, in particular, they will learn how to answer user questions. As a result of the search, links to specific resources and answers to queries appear, which you can view without clicking on the link (Kalugyan K.H., 2020).

Thanks to the "restructuring", search engines can respond to quite complex tasks, for example, the query "Lake Tahoe" allows the user to obtain data on the location of the lake without visiting additional sites.

Innovation has become feasible through the utilization of "semantic technology." Google, in responding to queries, examines the meanings of the words within the search and retrieves relevant information from a specialized database.

It is important to highlight that Google has already addressed basic queries, such as displaying stock prices, providing weather updates, and performing arithmetic operations.

The fundamental components of an intelligent system include its knowledge base, encompassing all information utilized during its operation, and the processing machinery linked to this knowledge base, embodying the system's functionality. The expansion of applications for intelligent systems requires addressing complex problems, each demanding the coordinated use of diverse representation models and knowledge processing techniques (Shihnabieva T.Sh., 2018).

To achieve these goals, systematic, statistical, and multifactorial analyses serve as research tools. The methods of theoretical analysis and solution systematization are also applied. Proficiency in concepts and techniques related to knowledge processing, including knowledge representations and integration in practical scenarios, is imperative. This knowledge prepares individuals for subsequent modules that delve into knowledge processing using neural networks, language processing, computational vision, robotics, and human-computer interaction, as well as various projects and master theses.

The field of computer science has experienced rapid growth, leading to an exponential surge in generated and processed information. Consequently, there is a critical need for effective methods of organizing and managing this information. Ontologies, which offer a formal representation of concepts and their relationships within specific domains, have emerged as valuable tools to address these challenges. By structuring domain knowledge systematically, ontologies enable knowledge sharing, reasoning, and the development of intelligent information systems.

Literature review and problem statement. The field of ontology in computer science has witnessed significant interest and engagement from researchers in recent decades. Numerous studies have been conducted, focusing on ontologies' creation, utilization, and application in diverse fields. Important references in this field encompass "The Handbook on Ontologies in Information Systems," which presents a thorough exploration of the conceptual and methodological dimensions of ontologies. It also delves into the creation and utilization of ontologies across diverse domains. The work "Ontologies: Principles, Methods and Applications", authored by Mike Uschold and Michael Gruninger, discusses the basic principles and methods of creating ontologies, as well as the application of ontologies in various fields, such as biomedicine, finance and others.

Also, the study of various aspects of ontologies was carried out by such domestic and foreign authors as:

Mike Uschold and Michael Gruninger's work, "Ontologies: Principles, Methods, and Applications," explores the fundamental principles and methodologies involved in ontology creation, along with their practical applications in domains such as biomedicine and finance. In addition to these seminal works, a wide range of domestic and international authors have contributed to the understanding of various aspects of ontologies, including Gulnara Kabanova and Harald Gall ("Ontology-driven software engineering"), Belousova I.D., Kurzaeva L.V., Laktionova Yu.S., and Agdavletova A.M. ("Ontological model of requirements management in the process of professional training of IT specialists"), Johannes De Bruin and Martin Stokhof ("A survey of ontology evaluation techniques"), Omar Malik and Satish Tandon ("Ontology engineering: A survey and future directions"), Yan Hender and James Hendler ("Ontologies in biomedical research"), Fausto Giunchiglia and Maurizio Petrone ("Ontology-based information retrieval"), among others.

Within the literature on artificial intelligence, numerous definitions of ontology exist, often conflicting with each other. In computer science, ontology is an attempt to comprehensively and precisely formalize knowledge within a specific domain, employing a conceptual framework. The term "ontology" in computer science is derived from its ancient philosophical concept, which studies the fundamental principles of existence, general essences, categories, structure, and patterns (Kalugyan K.H. 2020).

In the context of this article, ontology refers to a formal and explicit description of concepts within a specific subject area, encompassing classes (also known as concepts), properties (describing various attributes of concepts, referred to as slots or roles), and constraints imposed on these slots (facets or role constraints) [3]. Together with a collection of individual instances of classes, an ontology forms a knowledge base, blurring the distinction between ontology and knowledge base boundaries.

While ontology can be discussed in philosophy as a theory of existence, for instance, Aristotle's ontology with its primitive categories like substance and quality, in computer science, it is a technical term denoting an artifact designed to model knowledge about a real or imaginary subject area for specific purposes. This concept was embraced by early artificial intelligence researchers, who recognized the relevance of work from the field of mathematical logic (Shihnabieva T.Sh.2018) and proposed creating new ontologies as computational models enabling automated reasoning (Dzharratano Dzh., 2006). In the 1980s, the artificial intelligence community started using the term "ontology" to refer to both the theory of simulated worlds (e.g., naive physics) and the knowledge system component. Some researchers, inspired by philosophical ontologies, regarded computational ontology as a form of applied philosophy.

Ontology defines a common vocabulary for scientists who need to share information in a subject area. It includes machine-interpreted formulations of the main concepts of the subject area and the relationships between them.

What prompts the creation of an ontology? Various reasons include:

- Establishing a shared comprehension of information structure among individuals or software agents.
- Facilitating the potential reuse of knowledge within a specific domain.
- Explicitly articulating assumptions within the designated subject area.
- Distinguishing subject area knowledge from operational knowledge.
- Enabling the examination of knowledge within the defined subject area.

Comparative Analysis of Ontology Creation Tools. Table 1 provides a comprehensive comparative analysis of ontology creation tools, namely WebProtege, TopBraid Composer, Pronto Studio, and Protege. The table highlights the key features and functionality of each tool, facilitating an evaluation of their suitability for ontology development in various contexts.

Table 1. Comparative Analysis of Ontology Creation Tools

| № | Criteria | WebProtege | TopBraid Composer | Pronto Studio | Protege |
|---|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | User Interface | Web-based, intuitive | Desktop application | Desktop application | Desktop application |
| | | with customizable layouts | with customizable layouts | with customizable layouts | with customizable layouts |
| | | and interactive features | and interactive features | and interactive features | and interactive features |
| 2 | Features and Functionalities | OWL, RDF, reasoning | OWL, RDF, reasoning | OWL, RDF, reasoning | OWL, RDF, reasoning |
| | | capabilities, ontology | capabilities, ontology | capabilities, ontology | capabilities, ontology |
| | | visualization options | visualization options | visualization options | visualization options |

End of table 1

| | | | | | |
|---|---|--|--|--|--|
| 3 | Collaboration and Versioning | Collaboration features, user permissions, version control mechanisms | Collaboration features, user permissions, version control mechanisms | Collaboration features, user permissions, version control mechanisms | Collaboration features, user permissions, version control mechanisms |
| 4 | Performance and Scalability | Efficient ontology loading and editing, reasoning performance | Efficient ontology loading and editing, reasoning performance | Efficient ontology loading and editing, reasoning performance | Efficient ontology loading and editing, reasoning performance |
| 5 | Interoperability and Standards Compliance | Standards compliance, import/export in various formats, SPARQL support | Standards compliance, import/export in various formats, SPARQL support | Standards compliance, import/export in various formats, SPARQL support | Standards compliance, import/export in various formats, SPARQL support |
| 6 | Support and Community | Documentation, user community, professional support and training | Documentation, user community, professional support and training | Documentation, user community, professional support and training | Documentation, user community, professional support and training |
| 7 | Cost and Licensing | Open-source | Commercial | Commercial | Open-source |
| <i>Note – compiled by the author (Maxutova K.M)</i> | | | | | |

This table of comparative analysis provides a means for researchers and practitioners to assess and compare WebProtege, TopBraid Composer, Pronto Studio, and Protégé in terms of their features, functionality, collaboration capabilities, performance, interoperability, support, and licensing aspects. It serves as a valuable tool for choosing the most appropriate ontology creation tool tailored to specific project needs and preferences. Overall, the comparative analysis indicates that the choice of ontology creation tools depends on specific project requirements, user expertise, collaboration needs, and budget constraints. Each tool presents its own strength and limitations, catering to diverse user preferences and project complexities. Researchers and practitioners are encouraged to carefully evaluate the features and characteristics of each tool to select the most suitable one for their ontology development endeavors.

The choice of the Protégé ontology creation tool for this study was based on its longstanding reputation, extensive feature set, and active user community. Protégé offers a comprehensive suite of tools and functionalities for ontology development, including ontology editing, reasoning, visualization, and plugin support. Its open-source nature allows for customization and flexibility, making it a popular choice among researchers and practitioners in the ontology engineering field.

Results and discussion. The research conducted in this study provides valuable insights into the fundamental concepts and principles underlying ontologies, as well as an in-depth examination of the capabilities and functionalities of the Protégé ontology editor. Through a comprehensive analysis of existing literature, a solid foundation was established for understanding ontology construction in computer science. The research findings highlight the importance of ontologies in facilitating knowledge sharing, reasoning, and the development of intelligent information systems. A thorough exploration of the Protégé tool revealed its comprehensive set of functions and tools for ontology creation and editing. The tool's interfaces, features, and tools were extensively examined, enabling researchers and practitioners to effectively utilize Protégé in ontology development. The research results demonstrate Protégé's compatibility with ontological languages such as OWL and RDF, its efficient ontology loading and editing capabilities, as well as its support for reasoning and visualization (Brewster, C., Alani, H., Dasmahapatra, S., & Wilks, Y. 2004).

As mentioned above, even in the field of computer science, there are types of ontologies that provide fundamental concepts and relationships. It is called the upper ontology. Sometimes upper ontology is also called upper-level ontology or simply ontology, which tries to connect the general concepts of the concept of reality in our world. These ontologies are the main communication to facilitate the integration of information and knowledge. Thus, many attempts have been made to create higher ontologies in the Kazakh language, and the course "Informatics" has been studied as a subject area. The value of this work is the course "Informatics" in the Kazakh language, which is posted on the internet for the first time. Using this ontology, you can see the thesaurus, the ontological model and their relationship in the Kazakh language. This thesaurus contains all the information on the topics of the course "Computer Science" for automatic text processing. Ontology reflects the semantic structure of the educational process. The application application is designed to support its management-oriented form. The conceptual part of the ontology diagram is presented in the Protege-OWL Editing ontology. Let us remind you that a thesaurus is a dictionary in which words and phrases with similar meanings are grouped together, called concepts or descriptors, and the semantic relationships between these concepts (concepts, descriptors) are clearly expressed. Relationships (in the form of hierarchies) are shown. As an example, we can take CSO, where each term has a definition, hyperonym, hyponym, holonym, meronym. Hyponyms are a concept that expresses the importance of secrecy in relation to other, more general concepts. For example, the hyponym of the word information means – Signal, report, message, source. A hyperonym is an extended meaning of the plural form of a word or name. For example, the hyperonym of confidential information is information. Meronym is a particle of the whole word. For example, the term document is length, entropy, bit, cipher, data. Holonym-object of the second meaning. For example, a synonym for documented information is information. The thesaurus is needed to determine the structure of an ontological model that defines the following fields (Figure 2): 1) terms (concepts); 2) definition (interpretation) of terms; 3) relationships and properties between them. (A.Sharipbay, Al. Aktayeva, R. Niyazova 2019).

When creating a thesaurus in the field of "computer science", more than 600 terms were collected, the definitions, connections and properties of which were given. The relationship between these descriptors Figure 2 shows the terms of different authors in the subject area "Computer Science", consisting of nouns, definitions, hyperonyms, hyponyms, holonyms, meronyms.

When creating a thesaurus in the field of "computer science", more than 5000 terms were collected, the definitions, connections and properties of which were given. The relationship between these descriptors Figure 1 shows the terms of different authors in the subject area "Computer Science", consisting of nouns, definitions, hyperonyms, hyponyms, holonyms, meronyms.

Ontology is a formal description of a particular subject area, which describes the concepts (terms) of the subject area, the relationship between them and can be represented by the following set:

$$O = \langle X, R, F \rangle, \tag{1}$$

where X – is the last set of concepts (concepts, terms) of the metric area expressed by the ontology; R – is the last set of relationships between the concepts (concepts, terms) of a given subject area; F – is the last set of explanatory functions defined for concepts and/or relationships, presented as a verbal interpretation of a term, formula or term Now we will build an ontological model of the subject area “Informatics” in the Kazakh language, which will allow us to accumulate and store knowledge for a long time, as well as easily change and supplement them. To create an ontological model, we chose the Protégé Program, which is widely used. Figure 4 shows the connections established between the terms of the subject area “Informatics” in the Kazakh language in the Protege environment and its subclasses.

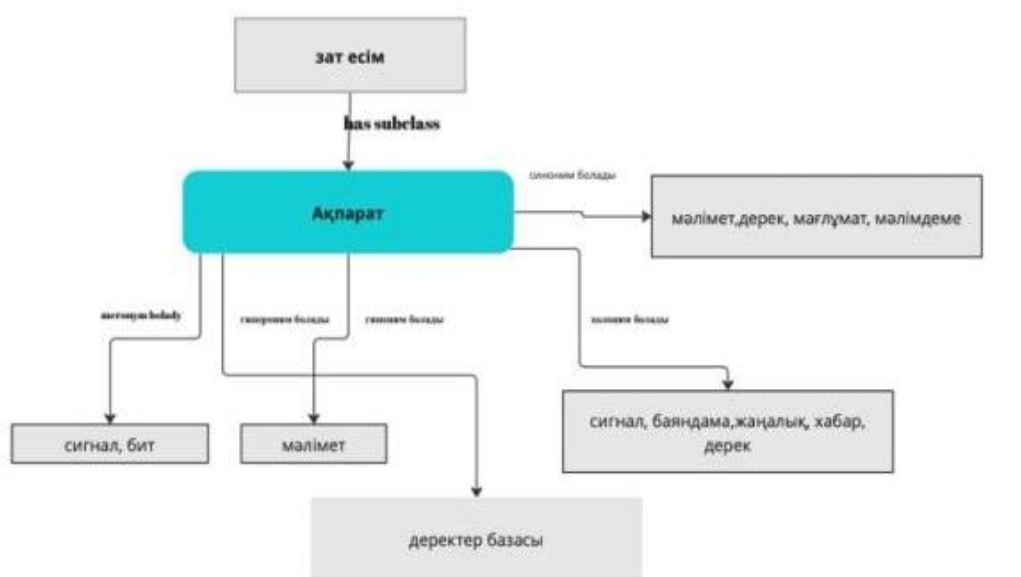


Figure 4. Terms and its subclasses created in the Protégé Program

Note – compiled by the author (Maxutova K.M)

To create a specific ontology that meets the requirements, the ontology development methodology was used. This methodology was chosen because it guides the ontology development process, as well as other support and management activities. We see that the aspects of these models are sometimes hybrids, since they all include aspects of both theories to show that they are included in the ontology sentence. In addition, the assembly of an ontology is based on the “classical” methodologies of software development, and this makes it easier for people with experience in software development to learn and use it. Also, activities such as evaluation, integration or coordination of other ontologies, documentation and configuration management have been carried out at the same time to apply knowledge-oriented ontologies. These are all auxiliary actions, and the main work on creating an ontology is carried out in the development process. Figure 5 shows the ontological model of the Kazakh language in the subject area” Informatics”.

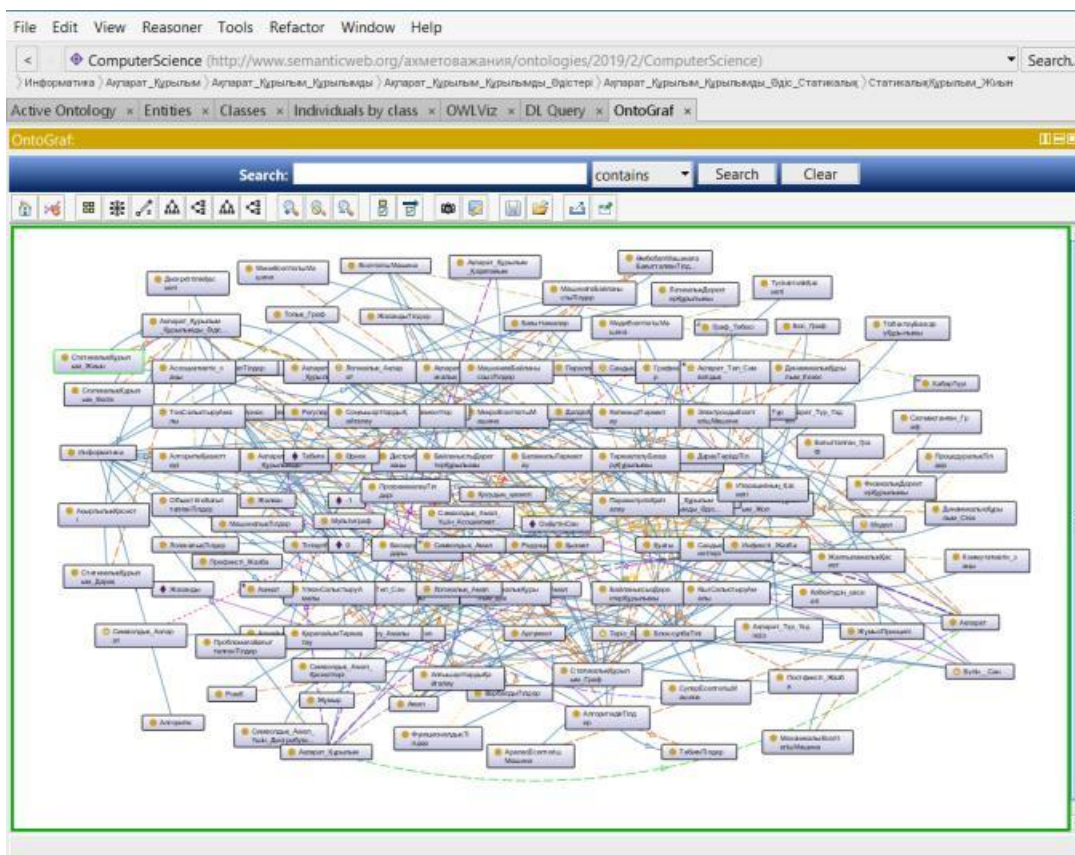


Figure 5. Ontology of the general typology of the thesaurus of terms

Note – compiled by the author (Maxutova K.M)

As a result of the study, a systematic, accurate knowledge base for school classes in the Kazakh language was created for the first time on the basis of web ontology in the subject area of computer science. The proposed hypothesis gave the expected result, and with the help of the developed Protégé Program, the Kazakh-language web ontology in computer science will contribute to the scientific development of computer science. Discussion. Ontology is interpreted as a way of providing the necessary mechanisms for modeling reality and connects students with their motivation to respond, but it does not commit to a specific way of organizing responses. Knowledge representation is achieved through the use of web ontology language (OWL) and semantic web language designed to represent knowledge about groups of things, relationships between things, rich and complex things. OWL is a language based on computational logic, according to which computer programs can use the knowledge expressed in OWL and also facilitate the sharing, reuse of knowledge using the global internet infrastructure. Therefore, the article presents a web-based ontology of the ontological model of knowledge in the Kazakh language in the subject area "Informatics". A feature of this work in the field of ontology is the creation of a specific knowledge base for school classes in the subject area of computer science, created in the Kazakh language. According to the school course "Informatics", an analysis of books of grades 5-11, textbooks and educational and methodological literature of such publishing houses as Almaty publishing house, Armandpv, atamura was carried out, subject areas and basic concepts were identified. Figure 6 analyzes the computer science textbook for Grade 5 and shows Terms and connections on topics.

In addition, in Figure 3, remembering the lexical analysis of the term "information", one can see the correctness of the developed ontological model. As shown in Figure 5, the Protégé Program created the subject ontology of the course "Informatics" in the Kazakh language with an analysis of the ontologies of English and Russian-language Informatics. The use of such an approach as part of educational processes makes it possible to combine a large amount of existing information into a single knowledge base, which can combine several academic disciplines and be clearly distributed on the Internet, making it independent. Another important feature of such a knowledge generation system is the ability to create testing software systems that generate test tasks based on the semantics of the described ontologies. It is clear that such systems for building knowledge control are much superior to the currently existing tests aimed at choosing one of several answer options. The ontological system as a means of describing the subject area should be useful to all specialists who are faced with the problem of searching, displaying and using knowledge in their work.

Conclusion

Visualizing cognitive thinking accelerates and enhances the comprehension of information technology structures as entities, providing a more comprehensive representation of educational concepts and their interconnections.

The challenges in bringing experts to identify and resolve bugs are growing increasingly complex. Their approaches primarily focus on employing formal methods. These methods enable the incorporation of intricate relationships alongside existing ones, facilitating the description of real-world tasks and objects.

Ontological modeling is an important method for the development of intellectual educational resources. By focusing on the relationships between concepts and subjects, this approach ensures that knowledge is presented in an intuitive and machine-readable way. With the help of ontological modeling, you can identify a problem area, create a conceptual model, create and fill an ontology with data, and finally introduce an ontology into action. Although the process can be complex, the advantages of ontological modeling are obvious: it provides the basis for creating powerful applications that solve various application problems. An effective tool for creating ontologies is the protégé editor. It allows you to create classes, cells, and versions, and provides an easy way to modify ontologies without creating inconsistent data and knowledge. Protégé can be applied to practical applications, such as the creation of ontologies for Intelligent Information Retrieval Systems, as well as for educational purposes, such as the development of ontological models for e-learning. We can also mention that Protégé easily integrates with other programs used to work with ontologies. In our case, since OWL is the official language, we can see in this feature and the existing environment for the development of ontologies that we implement in Protege. In the course of the study, the following issues were studied and the results were obtained: A thesaurus on the subject "Informatics" was created and an ontological model developed in the Kazakh language. In the future, it is planned to expand the ontological model, thesaurus, as well as create an intelligent system in the subject area "Computer Science". A promising avenue of progress involves formalizing the processes for constructing well-structured knowledge bases and implementing these procedures in various computing environments, be it local or distributed. Creating a sound knowledge base can be achieved through conventional methods as well as utilizing emerging technologies like cloud computing.

References

Fedotova, E.L. Informacionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii: Uchebnoe posobie. – M.: ID FORUM; NIC INFRA-M, 2013. – 336 c

- Kalugyan K.H. Informacionnye tekhnologii: uchebnoe posobie: -IPK RGEU (RINH), 2020. – 84 s.
- Brussard M. Iskusstvennyj intellekt. Predely vozmoznogo. – M.: Al'pin non-fikshn, 2020.
- Shihnabieva T.Sh. Model'noe predstavlenie bazy znanij v usloviyah cifrovogo universiteta // Informatizaciya obrazovaniya i nauki. 2018. – № 4(40). – S. 54-60.
- Dzharratano Dzh., Rajli G. Ekspertnye sistemy: principy razrabotki I programmirovaniye: per. S angl. - M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006. – 1152 s.
- Kolin, K. K. Stanovlenie informatiki kak fundamental'noj nauki I kompleksnoj nauchnoj problemy: sb. nauch. tr. / K. K. Kolin // Sistemy i sredstva informatiki: «Nauchno metodologicheskie problemy informatiki»: spec. vyp. / pod red. K.K. Kolina. – M.: IPI RAN, 2006. – S. 7–57.
- T.Shikhnabieva & S.Beshenkov. Intelligent System of Training and Control of Knowledge, Based on Adaptive Semantic Models. Smart Education and e-Learning. / Editors: V.L. Uskov, R.J. Howlett, L.C. Jain. – Springer. – Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2016. – Volume 59. P.595 - 603 (Web of Science, Scopus)
- V.L.Uskov, R.Dzh.Haulett, L.K.Dzhejn. Prygun. Intellektual'nye innovacii, sistemy I tekhnologii. 2016. Tom 59. – Str. 595-603
- Intelligence Metasynthesis and Knowledge Processing in Intelligent Systems
Journal of Universal Computer Science, vol. 14, no. 14 (2008), 2256-2262 submitted: 30/9/07, accepted: 30/4/08, appeared: 28/7/08 © J.UCS <https://www.researchgate.net/publication/220349953>
- Staab, S., & Studer, R. (Eds.). (2010). Handbook on ontologies. Springer Science & Business Media.
- Brewster, C., Alani, H., Dasmahapatra, S., & Wilks, Y. (2004). Data-driven ontology evaluation. In Proceedings of the Workshop on Ontology Learning and Population (OLP) at the 3rd International Semantic Web Conference (ISWC).
- Horridge, M., Knublauch, H., Rector, A., Stevens, R., & Wroe, C. (2004). A practical guide to building OWL ontologies using the Protégé-OWL plugin and CO-ODE tools edition 1.0. University of Manchester.
- Bodenreider, O. (2004). The unified medical language system (UMLS): integrating biomedical terminology. Nucleic Acids Research, 32(suppl_1), D267-D270.
- Ding, L., Finin, T., Joshi, A., Pan, R., Cost, R. S., Peng, Y., ... & Sachs, J. (2004, November). Swoogle: a search and metadata engine for the semantic web. In Proceedings of the 13th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (pp. 652-659).
- Ristoski, P., & Paulheim, H. (2016). Semantic Web in data mining and knowledge discovery: A comprehensive survey. Journal of Web Semantics, 36, 1-22.
- Representations of knowledge in the Kazakh language of the discipline "Protection of information: technical means» A.Sharipbay, Al. Aktayeva, R. Niyazova (2019).

Information about authors

Maxutova Kundyz – PhD- doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: qunkabai@gmail.com/ <https://orcid.org/0000-0002-3216-0397>, 87025118590

Saparkhojayev Nurbek – PhD, Associate Professor, Rector of Rudny Industrial University, Rudny, Kostanay region, e-mail: nursp81@gmail.com

Zhamangarin Dusmat – Vice-Rector, PhD, Kazakh Technology and business University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Dus_man89@mail.ru

Golenkov Vladimir – Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian State University of Computer Science and radio electronics, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: golen@bsuir.by

Niyazova Rozamgul – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: rs.niyazova@gmail.com

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК. ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ
INFORMATION SECURITY. INFORMATION PROTECTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_165
IRSTI 81.93.29

**G.E. Mukasheva¹, A.J. Karipzhanova¹, Stanio Kolev²,
Zh.Zh. Akhmetova³, G.A. Uskenbayeva³**

¹El «Alikhan Bokeikhan University», Semey, Kazakhstan

E-mail: gulzira_7777@mail.ru*

E-mail: kamilakz2001@mail.ru

²Technical university of Sofia, Bulgaria

E-mail: skolev@tu-sofia.bg

³L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan

E-mail: zaigura@mail.ru

E-mail: gulzhum_01@mail.ru

ENSURING THE PROTECTION OF DATABASES FROM THREATS
МӘЛІМЕТТЕР ҚОРЫН ҚАУІПТЕРДЕН ҚОРҒАУДЫ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ БАЗ ДАННЫХ ОТ УГРОЗ

Abstract. The article is devoted to the substantiation of one of the directions of scientific research of the authors – the problems of database security. These studies are aimed at developing and testing new solutions, in particular, providing error correction and partial losses using multidimensional parity algorithms when splitting files. A review of the state of methods and algorithms for the functioning of distributed databases reveals one of the main aspects of the DD security problem – the reliability of information storage. With the increase in physical storage capacity to secure backup storage and the consequent increase in cost and power consumption, a security technology that uses multivariate parity algorithms that are robust to partial loss of storage locations, allowing multiple disks to fail even simultaneously, is an alternative security option.

Keywords: databases, security, distributed storage, splitting, replication, multidimensional parity.

Аңдатпа. Мақала авторлардың ғылыми зерттеулерінің бір бағыты – мәліметтер қорын қорғау мәселесін негіздеуге арналған. Бұл зерттеулер жаңа шешімдерді өзірлеуге және сынауға бағытталған, атап айтқанда, файлдарды бөлу үшін көп өлшемді нақты алгоритмдерін пайдалана отырып, қателер мен ішінара жоғалтуларды түзетуді қамтамасыз етеді. Белінген мәліметтер қорының жұмыс істеу әдістері мен алгоритмдерінің жағдайын шолу ТМҚ қауіпсіздік мәселесінің негізгі аспектілерінің бірі – ақпаратты сақтаудың сенімділігін көрсетеді. Резервтік сақтаумен қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін қоймалардың физикалық көлемін ұлғайту және тиісінше олардың құны мен энергия шығынын ұлғайту жағдайында сақтау орындарының ішінара жоғалуына төзімді көп өлшемді нақты алгоритмдерді қолдана отырып, бірнеше дискілердің істен шығуына мүмкіндік беретін қауіпсіздік технологиясы, тіпті бір уақытта да, қауіпсіздікті қамтамасыз етудің балама нұсқасы болып табылады.

Түйін сөздер: мәліметтер қоры, қауіпсіздік, таратылған сақтау орыны, бөліну, репликация, көпөлшемді нақтылық.

Аннотация. Статья посвящена обоснованию одного из направлений научных исследований авторов – проблемы безопасности баз данных. Эти исследования нацелены на разработку и апробацию новых решений, в частности, обеспечение исправления ошибок и частичных потерь с использованием алгоритмов многомерной четности при расщеплении файлов. Обзор состояния методов и алгоритмов функционирования распределенных баз данных выявляет один из главных аспектов проблемы безопасности РБД – надежность хранения информации. В условиях увеличения физического объема хранилищ для обеспечения безопасности за счет резервного хранения и соответственно, повышения их стоимости и энергопотребления, в качестве альтернативного варианта безопасности выступает технология защиты с использованием

алгоритмов многомерной четности, устойчивых к частичной потере мест хранения, допускающих выход из строя нескольких дисков, даже одновременно.

Ключевые слова: базы данных, безопасность, распределенное хранение, расщепление, репликация, многомерная четность.

Introduction. The concept of a distributed database (DDB) has remained fundamental and unchanged for many years: a DDB is understood as a collection of logically related databases distributed in a specific network (Dejt, 2019). At the same time, the RDB includes parts of various information databases, which are located on network nodes and are controlled, in fact, by arbitrary operating control systems with their own software (Yocy, Val'duries, 2021).

The threat hierarchy for distributed databases includes many different sources of danger. These threats can come from both internal and external sources and may be aimed at the confidentiality, integrity or availability of data. Here are some of the main threats:

1. External threats:
 - Physical threats – these can be theft, vandalism or physical access to data.
 - Attacks on network communications - such as eavesdropping, interception or denial of service.
 - Threats from intruders - it can be phishing, social engineering or other forms of fraud.
2. Internal threats:
 - Software bugs – these may be vulnerabilities in the code or security issues.
 - Human factor – this may include errors by users, administrators or developers.
 - Incorrect system configuration - for example, weak passwords, insufficient authentication or lack of access control.

The key security problem of distributed databases is to ensure their protection from these threats. This requires a comprehensive approach to security, which includes measures to prevent, detect and respond to threats.

Materials and methods of research.

An assessment of the current state of RDB can be made on the basis of traditional principles known as Data rules, put forward back in 1987. There are twelve of them:

- 1) local autonomy;
- 2) independence of nodes;
- 3) continuous operations;
- 4) transparency of location;
- 5) transparent fragmentation;
- 6) transparent replication;
- 7) processing distributed requests;
- 8) processing of distributed transactions;
- 9) independence from equipment;
- 10) independence from operating systems;
- 11) network transparency;
- 12) independence from databases (Dejt, 2019).

According to these rules, the function must obey the apodictic principle: for any user, a distributed system must look like a regular, undistributed one. The point is that users do not feel the difference between distributed and centralized databases.

A review of methods and algorithms for constructions in the Data rules format reveals the following key problems.

- 1) The requirement of local autonomy means that all nodes in a distributed system must be autonomous, and data regulation on each node of the system is carried out to a limited extent. That is, the database on any node remains an integral element of the distributed system, but acts as a local database and is also managed locally. Problems in such a constellation can only arise

when selecting a (local) database management system (DBMS) for a distributed database (RDBMS), which must ensure management of the RDB and transparency of its use for all clients (Dejt, 2019). The best option is a federated RDBMS, based on the technology of “federated” access to various databases (Adèle, 2015). The federated option is reliable, but sometimes associated with implementation difficulties. Problems can arise not only due to differences in supported data models, but also, for example, due to simple coincidence of field names. Modern software solutions make it possible today to overcome difficulties, but relatively low performance due to time restrictions on accessing data in a centralized database, as well as the constant growth in the volume of information, keep the desire to build an ideal RDBMS relevant.

2) The requirement for node independence is due to the fact that the RDB should not have a single node without which the system cannot function. This means, among other things, the absence of a supporting central node. Difficulties in implementing the concept of node independence may be associated with access to node data, as in the case of the requirement of local autonomy. The problem is solved in the global schema format, based on which users can build distributed queries and update data. In this case, the federated DBMS works only with the common data schema, since all local DBMSs have their own data schemas and provide data access to all users by their own means.

3) The requirement for continuous operation is associated with the need to ensure continuous access to data within a single database, regardless of the location of nodes, and the performance of local operations even for administrative needs (Dejt, 2019). Continuous work of users is carried out thanks to applications - local, which do not require access to data located on other nodes, and global, which require such access (global applications) (Atamanov, 2017). Difficulties in continuous operation generally arise from problems of shared access to common data. There are two approaches to solving problems: establishing locks and managing transaction concurrency. Often both approaches are used together. But interleaving operations can lead to incorrect results, which will compromise the integrity and consistency of the database. Therefore, in the first approach, a locking mechanism is used to organize multi-user access to the DBMS. Establishing locks and managing transaction concurrency does not solve all the problems of continuous operation. Distributed deadlocks are always possible when transactions occur on a system that attempt to access locked data on another system.

4) The requirement of location independence means that, firstly, the user must access the database from any of the nodes, and secondly, absolute clarity (transparency) of the placement of all data is guaranteed. Difficulties may be related to optimization problems when access is performed over the network and it is not clear how the network transmission delay should be taken into account when optimizing a request, how to take network parameters into account, etc. These problems are solved in the current mode.

5) The fragmentation independence rule means that the user must access data regardless of the method of fragmentation, which is one of the two main ways to organize a distributed storage database (the other is replication). Both methods are considered the main means of ensuring the security and integrity of information in the RDB (Mamonov, 2018).

6) The rule of independence from replication (replication) means that the user's work with the RDB should not depend on replication procedures. With full replication, synchronized copies of the same database are placed on all computers. Data security in such a system will be the highest. The disadvantage is the complexity of replica synchronization during data updates and the fact that between updates the database copies may differ from each other (Kurmanbaev, Syrgabekov & Zadauly, 2017). Moreover, with the growth of information volumes, problems with the physical placement of growing hardware complexes and their energy supply with growing financial costs come to the fore.

7) The allocation of a separate rule for processing distributed queries means that the RDBMS must smoothly and error-free support the processing of queries that reference data located on more than one node. This is one of the main tasks of a distributed database management system (Karipzhanova, Sagindykov & Dimitrov, 2019). The ability to execute a distributed query is now supported by almost all server DBMSs.

8) Distributed transaction processing is an integral function of an RDBMS, which must support the execution of a transaction as a recovery unit. Problems that can arise when executing transactions in parallel include lost update results, uncommitted dependencies, and incompatible analysis. Loss of update results occurs when, for example, several transactions write data to one tuple, the last update is committed, the rest are lost. Methods of solution, as well as the causes of deadlock situations and methods for resolving them are known.

9) The rule of independence from the type of equipment is due to the fact that the RDBMS must be able to function on equipment with various, almost any, computing platforms. This is one of the most successfully addressed areas of RDB development.

10) The requirement of independence from the operating system implies that the RDBMS must be ready to operate under the control of various operating systems. Thanks to modern solutions, RDBs operating at the network level do not depend on the operating systems installed on the network, since they operate on network traffic exchanged by all network nodes.

11) Network transparency practically means the independence of the RDB from the network architecture. The RDBMS must function on networks with different architectures and media types. In fact, this category of requirements concerns the essence of the distributed database itself, since access to RDB data is always implemented over the network.

12) The requirement of independence from databases actually means independence from the type of DBMS. In this case, the RDBMS must interact with local DBMSs with different (heterogeneous) data types. The solution to this problem leads to the fact that DBMSs from different manufacturers successfully coexist in RDBs.

This brief review of the state of the methods and algorithms for the functioning of RDB reveals the validity and consistency of the distributed database paradigm, which implies providing flexible forms of servicing a large number of remote users and working with large flows of information in conditions of spatial and structural isolation. However, some fundamental shortcomings of the RDB appear to this day, although they are solved promptly in accordance with the autonomy of the tasks. Nevertheless, the promise of RDBS as a subtype of distributed computing systems involved in data processing is clear. Two advantages are crucial:

- 1) high power of the distributed system in solving common tasks;
- 2) possibility of autonomous operation of separate elements of the system.

It is still believed that the advantages include economic benefits, as well as increased reliability, data availability, and productivity (Dejt, 2019; Yocy, Val'duries, 2021). However, the increasing complexity of security threats that are constantly growing forces us to reconsider this assessment, since the current security paradigm is based on backup storage, requiring continuous replication using an ever-increasing number of storage devices. This inevitably leads to an increase in the cost of operating the RDB, a decrease in the reliability and availability of data. Therefore, one of the main directions of development and operation of RDB today is a qualitative improvement in the security of distributed storage.

Currently, there are several types of relatively reliable data storage systems (DSS). They differ primarily in the way storage devices are connected to the server.

Traditionally, the storage system is connected directly to the server. This technology is called Server Attached Storage (SAS) or Direct Attached Storage (DAS).

In addition, there are two more common technologies that involve connecting storage systems to a network (Network Attached Storage, NAS) or creating a special dedicated network that combines storage systems with application servers (Storage area Network, SAN) (Figure 1).

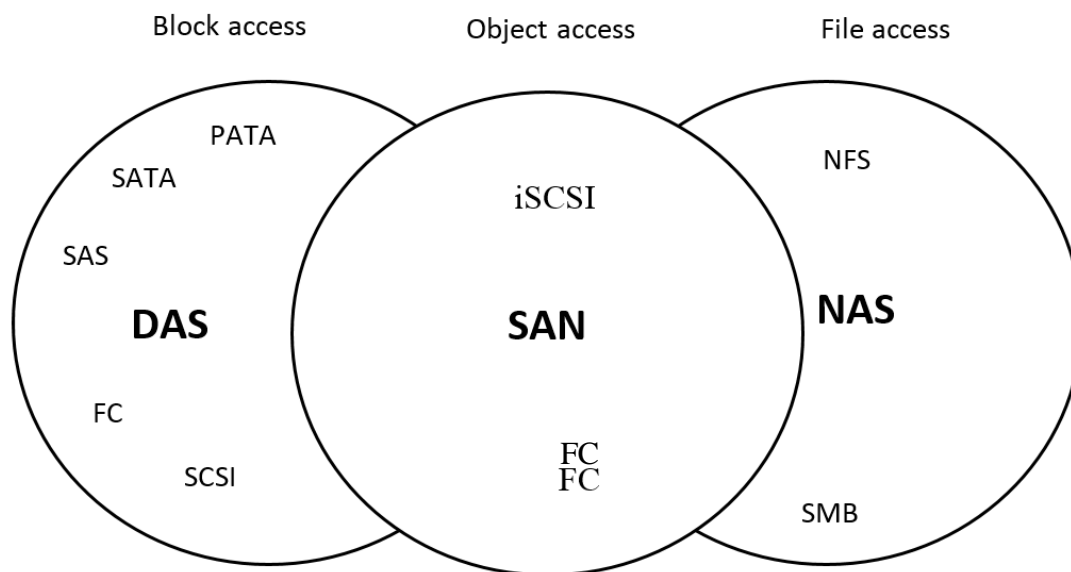


Figure 1. Levels of data storage systems

DAS storage systems that connect directly to the server's high-speed interface have been developed to expand the storage capacity of existing servers (Omel'yanenko, Papinashvili, 2017). One or more devices are connected to a common server using one or more interfaces, which may include SCSI, RAID, Fiber Channel and others. Today, the DAS architecture occupies a leading position in the market and is used in most storage systems. Disadvantages of the model: insufficient manageability; growing costs of data storage; overloading of the local network when processing large amounts of data; physical limitations on the total capacity of connected storage devices imposed by the bus architecture (SCSI, FC and others); dependence of storage systems on the performance of the server to which they are connected. linked (Syrgabekov, Zadauly & Kurmanbaev, 2017).

Network Attached Storage (NAS) is a high-performance network architecture with a special hardware platform in which the hardware and software performs the function of a file server (Grigor'ev, Pluzhnikov, 2011). The main goal pursued by developers is to simplify file sharing compared to the DAS architecture. Physically, NAS - devices are equipment that is connected directly to a local network (most often Ethernet). The advantages of NAS architecture are cost reduction by placing data within one logical structure and simplicity (relative to DAS) of storage management. NAS is a transition architecture between DAS and SAN.

A Storage Area Network (SAN) is an additional dedicated data network that connects one or more application servers to one or more storage systems (Omel'yanenko, Papinashvili, 2017). The basis of SAN is the ability to connect any of the servers to any data storage device. RAID arrays, libraries based on tape, magneto-optical and other types of devices, as well as simple disk arrays without RAID capabilities can be used as storage devices. SAN systems are used to work with large databases. A significant disadvantage of SAN is its high cost.

The systems considered today cannot guarantee 100% reliability of data storage, and this is one of the main aspects of the problem of RDB security, the most pressing direction for today in

the development and functioning of methods and algorithms for creating RDBs (Karipzhanova, Sagindykov, 2019). The problem of RDB reliability is becoming more and more relevant with the sharp increase in the volume of stored information. The term Big Data characterizes a trend that becomes apparent after becoming familiar with numerous cases of unauthorized penetration of databases with large-scale leaks (see, for example, (Korneev, 2019)).

The main factor influencing the reliability of data storage is the hardware reliability of storage devices, which is determined only by the existing level of production and is indicated in the equipment specification. Any fact of device failure is a deterministic phenomenon. But incomplete information about the processes occurring in it and the environment leads to the probabilistic nature of failures, i.e., failure can be caused by various reasons and have a different nature and nature. If we take into account that the time of occurrence of a failure is a random value, then the probability of this event can be estimated using the methods of mathematical statistics and the theory of random processes.

A random variable can be characterized by a distribution law in the form of a failure probability distribution function:

$$P(t) = P(T < t), \quad (1)$$

where T is the mean time between failures.

The density distribution of failure probability will be:

$$p(t) = \frac{dP(t)}{dt} \quad (2)$$

The distribution of a random positive variable is called exponential if its probability density function has the form:

$$p(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0 \quad (3)$$

Exponential distribution is used when considering sudden failures, when the phenomena of wear and aging are so weakly expressed that they can be neglected. In hard drives, mechanical wear factors are practically reduced to zero and are determined only by the reliability of electronic components.

In the first approximation, the time to failure of electronic components obeys an exponential distribution. In the case of intensive operation under heavy load, the effects of slow degradation may manifest themselves. A more accurate model of the failure probability distribution in this case will be the parametric Weibull distribution, which describes the slow degradation of the functional parameter y over time t . Parametric reliability characterizes the ability of an electronic device to maintain the level of the functional parameter $y(t)$ within the established standards from a to b for a given time T . The level of parametric reliability is determined by the probability of failure within a given period of operating time T :

$$P(T) = P(a \leq y(t) \leq b, t \leq T) \quad (4)$$

In general, the Weibull distribution for a random variable x is given by the density $f_x(x)$ (Borovikov, 2011):

$$f_x(x) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{array} \right\} \quad (5)$$

If we take x as the mean time between failures, we find that the failure rate is proportional to time:

- $k < 1$, the failure rate decreases over time;
- $k = 1$, the failure rate does not change over time;
- $k > 1$, the failure rate increases with time.

Here the coefficient k is the Weibull modulus.

Parametric distribution of the conditional Weibull reliability function:

If we take x as the mean time between failures, we find that the failure rate is proportional to time:

$$R(t|T) = \frac{R(T+t)}{R(T)} = \frac{e^{-\left(\frac{T+t}{\lambda}\right)^k}}{e^{-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^k}} \quad (6)$$

or

$$R(t|T) = e^{-\left[\left(\frac{T+t}{\lambda}\right)^k - \left(\frac{T}{\lambda}\right)^k\right]} \quad (7)$$

$R(t|T)$ – shows the probability that the object will work for another t time, provided that it has already worked for T time.

The technical specifications for hard drives used in storage devices usually indicate the following reliability parameters:

1) MTBF (Mean time between failures). MTBF, measured in hours, means the conditional average number of hours of disk operation before the first failure. Typical MTBF values for Desktop-class disks range from 0.5 to 1.0 million hours, and for Enterprise they can reach up to 2 million (Chen, Zhao, 2012).

2) AFR (annual failure rate). This is a more useful parameter than MTBF, which is the annual failure rate measured as a percentage. Typical value $\approx 1\%$, which is equivalent to MTBF = 0.88 million hours before first failure. For example, Western Digital claims an AFR during the warranty period of less than 0.8%, which equates to an MTBF $< 1,095,000$ hours.

3) UER (unrecoverable error rate) – frequency of occurrence of an unrecoverable error. This is a technological parameter that depends on the quality of the magnetic coating. Such a faulty bit is also called a «rotten bit» (bit rot). The typical value for Desktop disks at the moment is $\sim 10^{-14}$, i.e., one erroneous bit can appear on a stream of 10¹⁴ bits, and for Enterprise class disks 10⁻¹⁵-10⁻¹⁶

The obvious way to increase the reliability of data storage in the RDB database by increasing the reliability of hard disks seems to be the most simple and acceptable method. However, it is connected with the level of development of hard disk production technology, at which there is a certain limit, above which it is impossible to rise in principle. It is necessary to increase the reliability of elements so that the probability of failure-free operation of the system corresponds to the specified requirements. Practical realization of such highly reliable elements is not always possible. As the growth rate of information volumes in RDBS increases, the problems of hardware reliability of individual storage devices are added to the problems of reliability assurance in multi-component systems - the effects related to storage scaling.

To increase reliability, special technologies are used to achieve high storage reliability. First of all, these are hardware backup and data replication technologies. In the process of recording, data is simultaneously replicated (copied) to several storage locations. Replication is characterized by the replication coefficient R , which is equal to the number of written copies.

The most common replication variant is, for example, mirroring - parallel writing of data to two locations simultaneously, with replication coefficient $R=2.0$. In «Big data» technologies, when arrays of storage locations are used, coefficients less than $R=3.0$ are almost never used. The default replication factor is 3.0, for example, in Apache Hadoop and OpenStack Swift object storage systems, Red Hat Ceph distributed file system, etc. In practice, this parameter is adjusted depending on the reliability requirements and can reach $R=16.0-32.0$ (Karipzhanova, Sagindykov, 2018).

Let us estimate the probability of failure of redundant systems. If the probability of failure of a single disk is equal to P_{dev} , then the probability of failure P_{arr} of an array of n disks is equal to the joint probability of failure of n disks, i.e., all disks must fail at the same time:

$$P_{arr} = P_{dev,1} \cdot P_{dev,2} \cdot \dots \cdot P_{dev,n} = \prod_{i=1}^n P_{dev,i} \quad (8)$$

If identical disks are used, then for the replication coefficient $R=n$ we get:

$$P_{arr} = P_{dev}^n \quad (9)$$

When using, for example, disks with AFR=1.0%, with a probability of disk failure within a year $P_{dev}=0.01$, mirroring will reduce the probability of failure to $P_{arr}=10^{-4}$ (0.01%), and with a replication factor of 3, 0 the probability of information loss in such a storage will decrease to $P_{arr}=10^{-6}$ (0.0001%).

Redundancy is a very effective way to increase reliability, but at the same time it is too wasteful. As the replication coefficient increases, redundancy increases by the same factor. If we need to write D bits of data, then when writing to a storage with a replication coefficient of $R=n$, D_{arr} bits will actually be written, which is n times more:

$$D_{arr} = D_{dev,1} + D_{dev,2} + \dots + D_{dev,n} = \sum_{i=1}^n D_{dev,i} \quad (10)$$

$$D_{arr} = nD_{dev} \quad (11)$$

When storing and transmitting data, errors and/or loss of information inevitably occur. To increase reliability, it is necessary to ensure data integrity control, error correction and loss recovery. Several strategies are possible in case of errors or failures:

- a) detection of data errors and automatic request for retransmission of damaged blocks;
- b) discarding damaged blocks;
- c) error correction.

And here correction codes are used, which serve to detect and, if possible, correct errors that occur during the transmission and storage of information. In the correction codes, when writing data to storage locations or during transmission, specially prepared redundant information is added. Redundant data is used to detect and restore missing or damaged information. Establishing the existence of an error does not always mean that it can be corrected (Karipzhanova, Sagindykov, 2018). Any error-correcting code can also detect errors, but not the other way around. In practice, block codes are mainly used – this is a method of encoding when information is processed in fixed blocks. The primary mathematical framework commonly employed to analyze information storage revolves around the model of channels with erasures. In this model, emphasis is placed on errors such as erasures, which primarily occur due to

failures in storage devices, rather than on the distortion of the information itself. Utilizing this model facilitates the development of more effective codes aimed at enhancing storage reliability. This is because identifying the position of an erased channel is significantly simpler than determining the location of a distorted symbol, especially when compared to conventional error-correcting codes.

In the realm of storage technologies, two types of erasure codes are predominantly used:

1. Cyclic Redundancy Check (CRC) represents the simplest form of encoding that does not necessitate intricate calculations. CRC functions by generating a checksum, computed as the parity of bits within the received block. This checksum enables the detection and correction of single errors.

2. Reed-Solomon codes, on the other hand, are more intricate and computationally intensive. These codes, categorized as cyclic codes, are capable of error correction within data blocks. Instead of bits, the elements of the code vector are blocks comprising groups of bits, with the commonly utilized codes operating with bytes. Reed-Solomon codes represent a specific instance of BCH codes.

The use of erasure codes improves data storage reliability with significantly less redundancy than replication, thereby reducing overhead.

In addition, it is worth mentioning the RAID reliability enhancement technology. Initially, developers introduced different levels of RAID specification, which have become de facto standards: RAID1 – mirrored disk array; RAID2 – reserved for arrays using Hamming code; RAID3 and RAID4 – interleaved disk arrays with dedicated parity disks; RAID5 - interleaved disk array without dedicated parity disk. The reliability technology used in RAID uses parity-based error-correcting CRC codes. Although the somewhat more complex Hamming code algorithm was reserved for RAID2, it has never found practical application (Karipzhanova, Sagindykov, 2018).

Let's take a look at RAID technology from the perspective of providing reliable storage for large amounts of data using the most popular RAID5 as an example. Initially, everything works smoothly, and any faulty sectors that occur do not result in data loss because they are immediately compensated for by parity data. If one of the disks fails, RAID loses its error recovery capability, requiring the failed disk to be replaced with a serviceable one. To recover lost data from a failed disk, you must run the recovery procedure.

If the probability of failure of a single disk is P_{dev} , then the probability of failure of one of the disks in an array of n disks increases in proportion to the sum of all probabilities:

$$P = P_{dev,1} + P_{dev,2} + \dots + P_{dev,n} \quad (12)$$

The probability of a disk failure in an array is n times higher than the probability of a single disk failure. those. in RAID, the more disks there are, the higher the probability of a single disk failure:

$$P = nP_{dev} \quad (13)$$

Previously, when 1 TB of data was considered a fairly large amount, RAID used low-capacity disks. In server systems where performance is the main thing, high-speed disks with a rotation speed of 10-15 thousand revolutions per minute and a maximum capacity of 11 GB were used. But today the processing and storage of huge volumes of information is required, so the capacity of disks reaches many terabytes. In such conditions, hardware reliability factors begin to take their toll, which can no longer be neglected.

Let's consider the impact on the reliability of such a parameter as UER. Let there be a RAID5 consisting of 6 disks of 600 GB each with $UER=10^{-15}$. After one of the disks fails, the process of recovering the lost data begins. The total amount of data read during Rebuild: 5 disks of 600GB is equal to 0,24.1014 bits. Probability of an unrecoverable error: $P_{UER} = (0,24.1014) \cdot 10^{-15} = 0,024$. You need to read stripes from five disks, calculate checksums and write them to the sixth disk, which was replaced with a new, working one. During the Rebuild process, there is a possibility of errors in the form of a “damaged” bit (“rotten bit” - bit rot), which cannot be corrected. For the configuration under consideration, on an array of 6 600 GB Enterprise class disks, the probability of impossibility of data recovery is 2.4%. This means that if we use RAID5 with large disks, we may have an unacceptably high probability of data loss.

The larger the disk size and the greater the number of disks in the array, the greater the likelihood of data loss. For example, for an array of 16 2TB disks, if one of them fails, the total amount of data read during Rebuild (15 2TB disks) is 2.40.1014 bits. Probability of an unrecoverable error: $P_{UER} = (2,40.1014) \cdot 10^{-15} = 0,24$. Those. the probability of a recovery error already reaches 24%.

Modern storage systems use disks with capacities of up to 10 TB, and the process of increasing volumes will continue. The use of standard RAID controllers in storage systems is unacceptable. In this regard, new multi-disk storage technologies are being developed using more complex error correction algorithms. Consequently, an increase in the physical volume of storage facilities, an increase in their cost and energy consumption is inevitable.

This large-scale problem determines the choice of the main direction of our research, namely: studying the possibilities of the RDB security principle with data splitting and the use of multidimensional parity algorithms that are resistant to partial losses of storage locations. In this system, the security of the RDB is determined not by protecting information in its pure form, but by ensuring its reliability. Security in this case means: we do not lose information.

As indicated in the general overview above, in order to save information, it is common today to make numerous copies (replication, backup storage). But the more information is stored, the more disks are required and the less reliable the storage. Plus, disks do not work on their own, but are located in computers and are served by additional electronics, and electronic devices have their own degree of reliability. And when information is stored on multiple devices, it is even less reliable (Feltynowski, 2023).

Results and discussion.

Results and discussion (Results and discussion). The rationale for our chosen direction of research is that the proposed security system is designed specifically for distributed storage, which is carried out on many disks. During normal storage, information has to be copied several times, because storing it on several disks in itself is no longer reliable. The technology being researched allows multiple drives to fail, even simultaneously.

Conclusions.

Accordingly, our research includes: justification of the principle of distributed information storage with data splitting using multidimensional parity algorithms that are resistant to partial losses of storage locations; theoretical justification for the efficiency of distributed storage with multidimensional parity control; development of appropriate software; verification (testing) of a distributed information storage system with data splitting using multidimensional parity algorithms.

Conflict of Interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Acknowledgments. The authors thank their mentor and teacher, Erbol Asylkhanovich Kurmanbayev, for his support in scientific research.

References

- Adéle Da Veiga, Nico Martins, «Information security culture and information protection culture: A validated assessment instrument», *Computer Law & Security Review*, 31, 2. – P. 243-256, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2015.01.005>
- Bouras, C., Kokkinos, V., & Tseliou, G. (2013). Methodology for Public Administrators for selecting between open source and proprietary software. *Telematics and Informatics*, 30(2), 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2012.03.001>
- D.Chen and H.Zhao, «Data Security and Privacy Protection Issues in Cloud Computing», 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, Hangzhou, China, 2012, pp. 647-651, doi: 10.1109/ICCSEE.2012.193.
- Feltynowski, M. (2023). Technological challenges associated with land-use policies in Polish cities and towns. *Acta Scientiarum Polonorum Administration Locorum*, 22(1), 33-43. <https://doi.org/10.31648/aspal.8090>
- Karipzhanova A., Sagindykov K., Dimitrov K., «Justification of the method and algorithm of multidimensional parity control in distributed databases of information systems», *Proc. X National Conference with International Participation «Electronica 2019»*, May 16-17, 2019, Sofia, Bulgaria. – <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8816819/proceeding>. – DOI: 10.1109/ELECTRONICA.2019.8825600.
- Khashirova T.Y., Mamuchiev I.I., Mamuchieva M.I., Ozhiganova M.I., Kostyukov A.D. and Shumeiko I., «Assessment of Information Security in Integrated Systems», 2021 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), Yaroslavl, Russian Federation, 2021. – Pp. 201-205, <https://doi:10.1109/ITQMIS53292.2021.9642824>
- Kurmanbaev E.A., Syrgabekov I. N., Zadauly E. Karipzhanova A.Zh., Urazbaeva K.T. «Information Security System on the Basis of the Distributed Storage with Splitting of Data», *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2017. – Vol. 12. – № 8. – Pp. 1703-1711.
- Menard, Philip, Bott, Gregory J., Crossler, Robert E., « User Motivations in Protecting Information Security: Protection Motivation Theory Versus Self-Determination Theory», *Journal of Management Information Systems*, 2017, <https://doi.org/10.1080/07421222.2017.1394083>
- Stanislav Mamonov, Raquel Benbunan-Fich, «The impact of information security threat awareness on privacy-protective behaviors», *Computers in Human Behavior*, 83. – Pp. 32-44, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.01.028>
- Phesto P. Namayala, Tabu S. Kondo and Leonard J. Mselle, «The Factors Affecting User Experience Maturity in Free and Open-Source Software Community: An Empirical Study», *Taylor & Francis*, 1 – 17, 2023, SN - 1044-7318 <https://doi:10.1080/10447318.2023.2262270>
- Von Solms, Rossouw, Van Niekerk, Johan, «From information security to cyber security», *Computers & Security*, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2013.04.004>
- WD Black PC HD Series Specification Sheet, Western Digital [Электронный ресурс] / 26.11.2019. – Режим доступа: https://www.wdc.com/content/dam/wdc/website/downloadable_assets/eng/спец_data_sheet/2879-771434.pdf
- WD Gold Enterprise-class Hard Drives Specification Sheet // Western Digital [Электронный ресурс] 26.11.2019. – Режим доступа: https://www.wdc.com/content/dam/wdc/website/downloadable_assets/eng/спец_data_sheet/2879-800074.pdf
- Атаманов Ю.С. «Проблемы распределённых СУБД», *Молодой ученый*. – 2017. – № 15 (149). – С. 5 // Atamanov Yu.S., «Problemy raspredelyonnyh SUBD», *Molodoj uchenyj*. – 2017. – № 15 (149). – S. 5
- Боровиков С.М., «Использование распределения Вейбула для прогнозирования параметрической надежности изделий электронной техники», *Доклады БГУИР*. – 2011. – № 4. – С. 31-37 // Borovikov S.M., «Ispol'zovanie raspredeleniya Veybula dlya prognozirovaniya parametricheskoj nadezhnosti izdelij elektronnoj tekhniki», *Doklady BGUIR*. – 2011. – № 4. – S. 31-37.
- Григорьев Ю.А., Плужников В.Л., «Анализ времени обработки запросов к хранилищу данных в параллельной системе баз данных», *Информатика и системы управления*. – 2011. – № 2. – С. 94-106 // Grigor'ev Yu.A., Pluzhnikov V.L., «Analiz vremeni obrabotki zaprosov k hranilishchu dannyh v parallel'noj sisteme baz dannyh», *Informatika i sistemy upravleniya*. – 2011. – № 2. – S. 94-106.
- Дейт К.Дж., «Введение в системы баз данных», 8-е изд. – СПб.: Диалектика, – 2019. – С.1328 // Dejt K.Dzh., «Vvedenie v sistemy baz dannyh», 8-e izd. – SPb.: Dialektika, – 2019. – S. 1328.

- Ёсу М.Т., Вальдуриес П. «Принципы организации распределенных баз данных», пер. с англ. Слинкина А.А. – М.: ДМК Пресс, – 2021. – С. 672 // Yocy M.T., Val'duries P. «Principy organizacii raspredelennyh baz dannyh», per. s angl. Slinkina A.A. – M.: DMK Press, – 2021. – S. 672.
- Карипжанова А.Ж., Сагиндыков К.М., «Система безопасности распределенных баз данных в облаке с использованием технологии многомерной четности», Вестник Государственного университета имени Шакарима. Технические, биологические науки. – 2019. – № 1(85). – С. 194-200 // Karipzhanova A.Zh., Sagindykov K.M., «Sistema bezopasnosti raspredelennyh baz dannyh v oblake s ispol'zovaniem tekhnologii mnogomernoj chetnosti», Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima. Tekhnicheskie, biologicheskie nauki. – 2019. – № 1(85). – S. 194-200.
- Карипжанова А.Ж., Сагиндыков К.М., «Способы повышения надежности хранения информации в базах данных», Вестник Казахского Гуманитарно-Юридического Инновационного Университета, 3 (39), 2018 год, – С. 264-269 // Karipzhanova A.Zh., Sagindykov K.M., «Sposoby povysheniya nadezhnosti hraneniya informacii v bazah dannyh», Vestnik Kazahskogo Gumanitarno-Yuridicheskogo Innovacionnogo Universiteta, 3 (39), 2018 god. – Pp. 264-269.
- Корнеев В., «Крупные атаки хакеров в 2001-2016 годах: хронология», ТАСС-Досье [Электронный ресурс], 26.11.2019. – Режим доступа: <https://tass.ru/info/2619230> // Korneev V., «Krupnye ataki hakerov v 2001-2016 godah: hronologiya», TASS-Dos'e [Elektronnyj resurs], 26.11.2019. – Rezhim dostupa: <https://tass.ru/info/2619230>
- Омельяненко М.В., Папинашвили В.Г., «Решение проблем параллельной обработки транзакций и выход из тупиковых ситуаций в базах данных», Молодой ученый. – 2017. – № 9 (143). – С. 31-34 // Omel'yanenko M.V., Papinashvili V.G., «Reshenie problem parallel'noj obrabotki tranzakcij i vyhod iz tupikovyh situacij v bazah dannyh», Molodoy uchenyj. – 2017. – № 9 (143). – S. 31-34.
- Распределение Вейбулла [Электронный ресурс], 26.11.2019. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределение_Вейбулла // Raspredelenie Vejbulla [Elektronnyj resurs], 26.11.2019. – Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Raspredelenie_Vejbulla
- Сыргабеков И., Задаулы Е., Курманбаев Е., «Защита информационных баз по методу распределенного хранения», Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан. – №5. – 2017. – С. 141-153 // Syrgabekov I., Zadauly E., Kurmanbaev E., «Zashchita informacionnyh baz po metodu raspredelennogo hraneniya», Doklady Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. – №5. – 2017. – S. 141-153.

Information about authors

Mukasheva Gulzira Yersainovna – Master, Alikhan Bokeikhan University, Semey, Kazakhstan, E-mail: gulzira_7777@mail.ru

Karipzhanova Ardak Jumagazievna – doctor of PhD, Alikhan Bokeikhan University, Semey, E-mail: kamilakz2001@mail.ru

Stanio V. Kolev – doctor of Technical Sciences, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, E-mail: skolev@tu-sofia.bg

Akhmetova Zhanar Zhumanovna – doctor of PhD, a.a.Professor, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: zaigura@mail.ru

Uskenbayeva Gulzhan Amangazievna – doctor of PhD, a.a.Professor, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: gulzhum_01@mail.ru

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_177
IRSTI 20.23.27

**M.E. Rakhymberdina¹, G.K. Daumova¹, G.K. Zhussupova², R.K. Chettykbayev¹,
D.V. Chepashev²**

¹D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: MRakhymberdina@edu.ektu.kz

E-mail: GDaumova@edu.ektu.kz*

E-mail: rchettykbayev@edu.ektu.kz

²Institute of Ionosphere LLP, Almaty, Kazakhstan

E-mail: zhussupova51@gmail.com

E-mail: d.chepashev@ionos.kz

MAPPING VEGETATION TYPES ON DIFFERENT SLOPES AND ASSESSING THE DYNAMICS OF THEIR CHANGE OVER A LONG PERIOD OF TIME

ӘРТҮРЛІ БЕТКЕЙЛЕРДЕГІ ӨСІМДІК ТҮРЛЕРІН КАРТОГРАФИЯЛАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҰЗАҚ УАҚЫТ АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫН БАҒАЛАУ

КАРТИРОВАНИЕ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ СКЛОНАХ И ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ ЗА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ

Abstract. Vegetation mapping is a key task in remote sensing for environmental protection. Modern remote sensing technologies offer numerous advantages, including significant time savings, the ability to cover large areas, and effective long-term monitoring. These methods can greatly accelerate tasks compared to traditional field-based approaches. This article presents a method for land cover classification using time series analysis of Planet Scope satellite imagery from 2019 to 2023. The aim of the study is to examine how different input data affect classification outcomes and to analyze vegetation dynamics over the selected period. The research was conducted in the northeastern part of East Kazakhstan using the Random Forest (RF) algorithm to determine optimal parameters and track changes in vegetation types. The results include land cover classifications based on five different feature combinations, along with an overall accuracy assessment. The findings indicate that the best results in land cover mapping are achieved by combining spectral bands, topographic indices, and tree crown height layers. Vegetation was classified into three categories: trees, shrubs, and grass cover, with water bodies and bare soil areas also identified. The analysis revealed that from 2019 to 2023, the total area of trees and water bodies decreased, while grass cover, shrublands, and bare areas expanded. These findings can aid in further ecosystem analysis and highlight significant changes in vegetation structure and ecosystem processes.

Keywords: Vegetation types, machine learning, Random Forest, remote sensing, change monitoring

Аңдатпа. Өсімдік түрлерін картографиялау қоршаған ортаны қорғау саласындағы қашықтықтан зондтаудың маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Заманауи қашықтықтан зондтау технологияларын қолданудың көптеген артықшылықтары бар, оның ішінде уақытты айтарлықтай үнемдеу, үлкен аумақтарды қамту, ұзақ мерзімді тиімді бақылауды қамтамасыз ету. Бұл әдістер дәстүрлі жерүсті әдістермен салыстырғанда тапсырмаларды орындауды айтарлықтай жылдамдата алады. Мақалада 2019-2023 жылдар аралығындағы Planet Scope спутниктік суреттерін талдау негізінде өсімдік жамылғысын жіктеу әдісі талқыланады. Бұл зерттеудің мақсаты әртүрлі кіріс деректерінің жіктелу нәтижелеріне және таңдалған кезеңдегі өсімдіктердің өзгеру динамикасына әсерін талдау болып табылады. Шығыс Қазақстанның солтүстік-шығыс бөлігінде «Random Forest» (RF) алгоритмі бойынша ең қолайлы параметрлерді таңдау және өсімдік түрлерінің өзгеруін талдау үшін зерттеу жүргізілді. Топтастыру белгілерінің бес түрлі комбинациясын және жалпы дәлдікті бағалауды пайдалана отырып, жер жамылғысын жіктеу нәтижелері берілген. Зерттеу нәтижелері бойынша спектрлік арналар,

топографиялық көрсеткіштер және ағаш қалқасының биіктік қабаты сияқты кіріс параметрлердің комбинациясын пайдалану жер жамылғысының картасын жасауда ең жақсы нәтиже беретіні анықталды. Өсімдік жамылғысы ағаштар, бұталар және шөп жамылғысы болып үш түрге жіктеліп, су ресурстары мен ашық топырақтың аумақтары анықталды. Талдау көрсеткендей, 2019-2023 жылдар аралығында ағаштар мен су қоймаларының жалпы көлемі азайып, ал шөп жамылғысы, бұталар және ашық топырақ алқаптары көбейіп келеді. Осылайша, зерттеу нәтижелері экожүйенің өзгерістерін одан әрі талдау мен жер жамылғысы құрылымындағы және экожүйелік процестердегі маңызды өзгерістерді анықтауға ықпал ете алады.

Түйін сөздер: Өсімдік түрлері, машиналық оқыту, Random Forest, қашықтықтан зондтау, өзгерістердің мониторингі.

Аннотация. Картографирование растительности является одной из наиболее важных задач дистанционного зондирования в области защиты окружающей среды. Применение современных технологий дистанционного зондирования имеет множество преимуществ, включая существенную экономию времени, охват обширных территорий и обеспечение эффективного длительного наблюдения. Эти методы позволяют значительно ускорить выполнение задач по сравнению с традиционными наземными способами. В статье рассматривается метод классификации растительного покрова на основе анализа спутниковых снимков Planet Scope временных рядов за период с 2019 по 2023 год. Цель данного исследования состоит в анализе влияния различных входных данных на результаты классификации и динамики изменений растительности за выбранный период. Было проведено исследование в северо-восточной части Восточного Казахстана с использованием алгоритма Random Forest (RF) для выбора наиболее подходящих параметров и анализа изменений типов растительности. Представлены результаты классификации растительного покрова с использованием пяти различных комбинаций классификационных признаков и оценки общей точности. Согласно результатам исследования, было установлено, что использование комбинации таких входных параметров, как спектральные каналы, топографические индексы и слой высоты крон деревьев, дают наилучшие результаты в картировании растительного покрова. Растительный покров был классифицирован на три типа: деревья, кустарники и травяной покров, а также были определены площади водных ресурсов и открытой почвы. Анализ показал, что в период с 2019 по 2023 годы общая площадь деревьев и водоемов уменьшается, в то время как площади травяного покрова, кустарников и не покрытых растительностью участков увеличиваются. Таким образом, результаты исследования могут способствовать дальнейшему анализу изменений экосистемы и выявлению важных изменений в структуре растительного покрова в экосистемных процессах.

Ключевые слова: Типы растительности, машинное обучение, Random Forest, дистанционное зондирование, мониторинг изменений.

Introduction. The classification and mapping of vegetation using remote sensing are regarded as effective methods for collecting land cover data at various spatial scales (Feddema, 2005). These methods are crucial for understanding the impacts of land cover changes on factors such as agricultural production, avalanche formation, carbon sequestration, water quality, runoff, and biodiversity conservation.

Machine learning has attracted increasing attention in recent years, and its use in land cover classification has been expanding (Sun, 2023). The Random Forest machine learning algorithm proposed by Leo Breiman and Adele Cutler combines two key concepts: Breiman's bagging method and the random subspace method proposed by Tin Kam Ho. With this flexibility, Random Forest can effectively solve a wide range of machine learning problems (Breiman, 2001).

The objective of this study was to select the optimal combination of input variables for high-precision mapping to determine the vegetation dynamics on different slopes. A dataset of topographic (Elevation, Slope, Aspect), spectral indices (NDVI, NDWI, EVI, MSAVI) and canopy height were used as RF input parameters to classify vegetation at a local scale on the GEE platform with Planet Scope satellite images in the selected area. Then, the obtained optimal RF parameters were applied to classify the vegetation type and analyze their dynamics during the period 2019-2023.

Literature review. Machine learning is particularly used in land cover classification (Georganos, 2018), remote sensing image classification (Sheykhmousa, 2020) and soil property mapping (Hengl, 2015). They provide high classification accuracy for different vegetation types, resistance to overfitting and the ability to handle large amounts of data. In a number of previous studies, the Random Forest algorithm has demonstrated better results than other machine learning algorithms. For example, Dino Dobrinić achieved 92% accuracy in his study using Sentinel imagery for a hilly area of Northern Croatia (Dobrinić, 2021). The results of the Thanh Noi Phan study show that all datasets provided medium to high accuracy land cover maps with an overall accuracy of over 84.31% (Phan, 2020). Also, Xueliang Zeng obtained the best results in soil identification using the RF algorithm in his research conducted on the Google Earth Engine (GEE) platform (Zeng, 2024). Samuel Edwin Pizarro created a highly accurate model by combining spectral bands and topographic indices with the random forest algorithm, with the Kappa coefficient being 0.81 (Pizarro, 2022).

Materials and methods. The research methodology includes the following 6 steps: 1) identification and processing of Planet Scope satellite data, 2) feature extraction and dataset preparation, 3) selection of training and testing samples, 4) vegetation classification and accuracy assessment in the selected area, 5) identification of the optimal dataset for vegetation classification, 6) analysis of RF classification accuracy and change dynamics over the selected period. The workflow is shown in Figure 1. The details are described in the following sections.

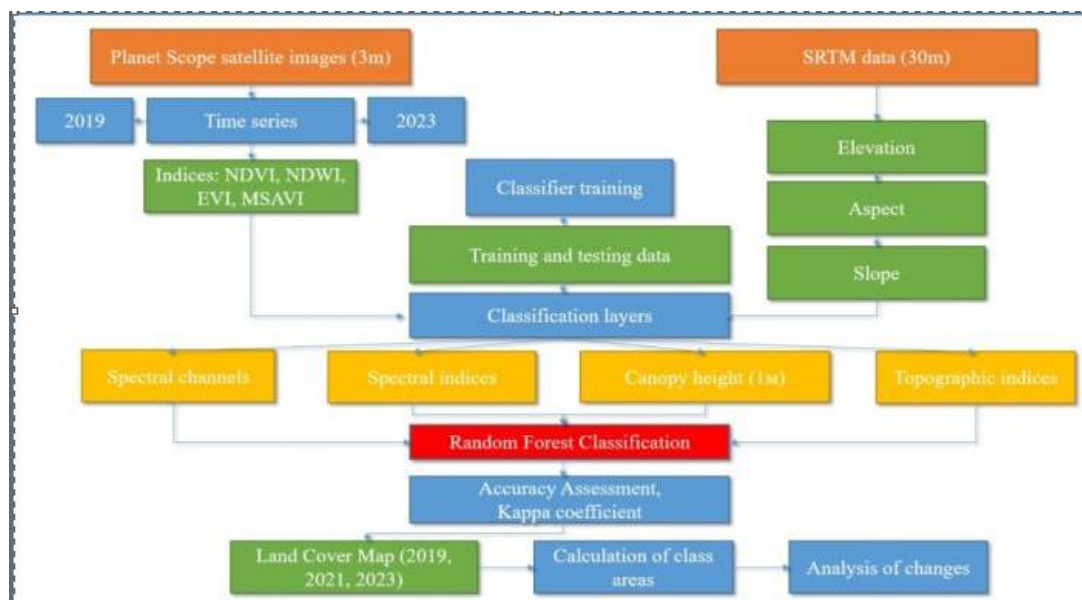


Figure 1. Research method graph

Note – compiled by the authors

The area of research. The research territory is situated in the northeastern part of the East Kazakhstan region (Fig. 2), covering over 2955 km² and featuring elevations ranging from 768 to 4448 meters. The geographic coordinates of the area are 85°30' - 87°00' east longitude and 49°10' - 49°50' north latitude. The majority of the study area lies in the southeastern part of the Listvyaga Ridge, extending to the highest peak, Belukha, at the border with Russia, and reaches the northern section of the Bukhtarma River in the south. The Belukha glaciers serve as the source of the Belaya and Chernaya Berel rivers, and the area also includes lakes such as Rakhmanovskoye, Yazovoye, Chernovoye, and Maralye.

Mountain forests are typically found at elevations ranging from 1,200 to 2,200 meters above sea level. Coniferous trees include evergreen cedar, spruce and fir, as well as larch; deciduous trees include white-trunked birch, poplar, aspen, and many different types of willow. Shrub flora numbers over 50 species (Bel'gibaev, 2007).

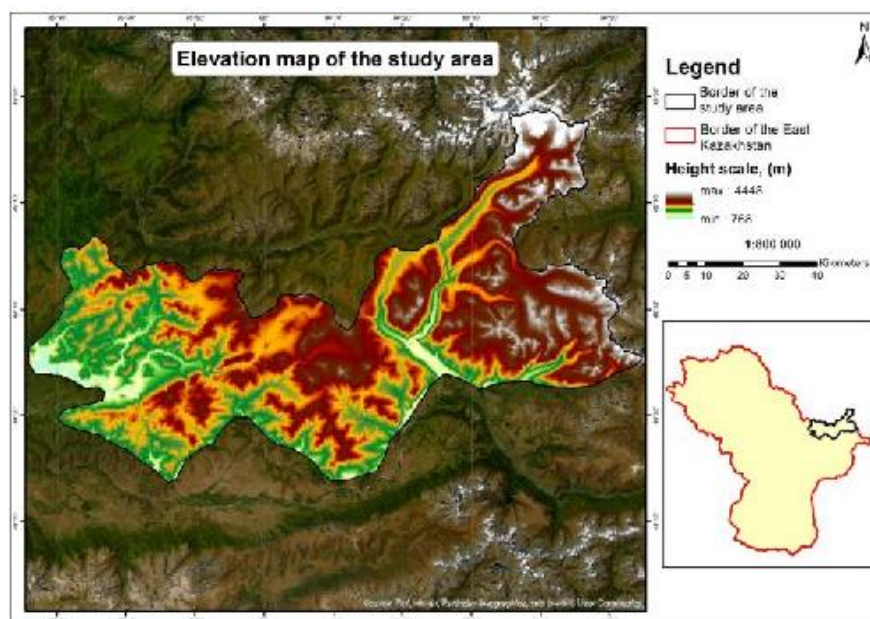


Figure 2. Map of the terrain of the research territory

Note – compiled by the authors

The data used in this study were divided into two groups: Planet Scope satellite data and ancillary data. Brief information on each data group is provided below.

Satellite datasets. The land cover maps were created using commercial data from the PlanetScope satellite constellation, which consists of three groups of satellites: Dove-C, Dove-R, and SuperDove. The PlanetScope satellites provide images with a resolution of 3.0 to 4.2 meters, which capture images in at least four spectral bands: Blue, Green, Red, and NIR.

In addition to providing individual images, the Planet Labs portal allows you to receive composite images. These are stitched images that combine the best parts of several images, removing clouds for analysis. The results were images dated July 13, 19, 2023, which were made up of 20 individual scenes combined into one composite image. Similarly, the composite image for July 3, 2021, was made up of 33 scenes, for 2019, images were taken on July 6, 17, 29 and August 1, 12, and consisted of 63 scenes.

PlanetScope images require additional processing in the form of image normalization, due to the difference between the band ranges of the Dove-C, Dove-R and SuperDove satellites. Therefore, the Planet Labs portal provides the ability to harmonize images with Sentinel-2 images: blue - band 1, green - band 3, red - band 4, NIR - band 8a. Thus, we received harmonized Planet Scope images with time intervals for the months of July-August 2019, 2021, 2023 (URL: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>).

Topographic data. As topographic variables for land cover classification from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30 m resolution data available from the US Geological Survey (USGS) website (URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>), we determined the slope (in degrees from 0 to 90°) and aspect (in degrees from 0 to 360°) from the Elevation layer (Figure

1) and transformed the aspect using trigonometric sinusoidal values to avoid cyclical data values. The obtained sinusoidal aspect values reflect the degree of tilt toward the east, ranging from 1 (oriented to the east) to -1 (oriented to the west).

Spectral Indices. Vegetation indices like MSAVI, EVI, NDVI, and NDWI are employed to differentiate between areas with and without vegetation, assess vegetation health while accounting for biomass and atmospheric conditions, and enhance the detection of water bodies (Huete, 2002; Gilang, 2021; McFeeters, 1996).

Using the following equations, spectral indices were calculated – NDVI, NDWI, EVI, MSAVI.

$$NDVI = \frac{(NIR+Red)}{(NIR-Red)} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{(Green-NIR)}{(Green+NIR)} \quad (2)$$

$$MSAVI = \frac{2*NIR+1-\sqrt{(2*NIR+1)^2-8(NIR-Red)}}{2} \quad (3)$$

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR-Red)}{(NIR+6*Red-7.5*Blue+1)} \quad (4)$$

where: NIR – infrared range; Red – red range; Green – green range; Blue – blue range.

Canopy Height. The Global Canopy Height Maps dataset provides detailed information on tree canopy heights worldwide at 1 m resolution, covering the period from 2009 to 2020. The majority of the data (80%) is based on imagery taken between 2018 and 2020, providing a current and accurate representation of tree canopy height and distribution over this period. This layer was used to distinguish vegetation from each other based on tree canopy height (Tolan, 2024).

As a result, 9 auxiliary data sets were obtained, on the basis of which 5 combinations were formed for studying the optimal RF parameters and for vegetation classification (Table 1.)

Table 1. Combinations and their input layers

| Combination number | Input layers |
|---------------------------------------|---|
| N1 | spectral channels + spectral indices + topographic indices |
| N2 | spectral channels + spectral indices + crown height |
| N3 | spectral channels + topographic indices + crown height |
| N4 | spectral indices + topographic indices + crown height |
| N5 | spectral channels + spectral indices + topographic indices + crown height |
| <i>Note – compiled by the authors</i> | |

Collecting training data. Extracting training and validation samples from the original map is a critical step in the digital vegetation mapping process. The quality of the training data directly affects the accuracy of the updated vegetation map. We extracted the area data from the GEE base map layer, which is built on high-resolution satellite data. Information from Planet Scope satellite images was also used to select training data. Training data for various land cover types were generated by selecting pixels through visual analysis, with each pixel being assigned a known land cover classification. This enabled the machine learning algorithm to learn and distinguish these types based on their spectral properties.

The training data was divided into 6 classes: trees, grass, bare soil, shrubs, snow, and water. By comparing data from two different sources, 4594 training samples were collected for 2019, 2021, and 2023.

Random Forest Algorithm. Today, RF is considered one of the most widely used algorithms for land cover classification using remote sensing data (Phan, 2020; Zeng, 2024; Pizarro, 2022; Mercier, 2019). Random Forest is a machine learning method that uses multiple decision trees for classification or regression analysis. Its advantages include high accuracy and resistance to overfitting when working with different types and high-dimensional datasets (Amani, 2017). The RF classifier requires two key parameters to operate: the number of randomly selected variables (m_{try}) used to build the decision tree at each splitting step, and the number of decision trees (n_{tree}) (Fu, 2017). It is based on the concept of ensemble learning, in which multiple decision trees are built and their results are combined to produce the final prediction (Breiman, 2001).

RF uses each vote on the decision tree to produce results:

$$A(a) = B_{\arg \max}^x \sum_{y=1}^C d_y^x(a) \quad (5)$$

where: $A(a)$ is the model based on RF extraction algorithm; $B_{\arg \max}^x$ is the x -labeling of the extracted class; C is the number of voting decision trees in the RF extraction algorithm forest; d_y is the y -th voting decision tree in the RF extraction algorithm forest (Zeng, 2024).

All 5 sets of machine learning algorithm combinations were run using code written in GEE. During the training process, the training data set was split into training and validation data (8:2).

Accuracy assessment. In the course of the work, the following metrics were used to evaluate the accuracy: Overall Accuracy (OA) and Kappa Coefficient (KC), which were calculated using the functions “confusionMatrix.accuracy”, “confusionMatrix.kappa” on the GEE platform (Huang, 2017). The validation dataset was used to evaluate the accuracy of vegetation maps created on the basis of base maps from GEE, as well as digital maps obtained using various classification methods.

Overall Accuracy measures the effectiveness of the algorithm and is determined by the ratio of correctly classified samples to the total number of samples tested. Its values range from 0 to 1, where values approaching 1 indicate higher classification accuracy. Similarly, the Kappa coefficient, which ranges from -1 to 1, reflects the consistency of classification across all map types, with values closer to 1 indicating stronger agreement (Zeng, 2024).

Importance of Input Parameters. To determine the importance of input variables and the degree of their influence on classification, the MDI (Mean Decrease Impurity) method of variable importance assessment implemented in Google Earth Engine is used. MDI is a method for determining the importance of features in the RF algorithm. It measures how much each feature reduces the diversity in the trees of the RF algorithm and calculates the average value of this value for all trees in the algorithm. The greater the reduction in the diversity of a feature in the trees, the higher its importance (Agarwal, 2023).

Results and discussion. Based on the RF classification, this study generated 15 land cover maps, each showing a certain OA and QC accuracy value. The classification results were visualized as a map, where each vegetation type was displayed in its own color. As mentioned in the Materials and Methods section, in addition to the spectral channels of Planet Scope images, we also used additional variables to test whether they improve the accuracy of the land cover maps and to find an effective option for combining variables.

Accuracy evaluation results. The classification accuracy evaluation results shown in Table 2 show that the highest overall accuracy (OA) and kappa coefficient (KC) in 2023 were demonstrated by the N3 combination, which includes spectral channels, topographic indices and tree crown height layer, with OA estimates of 0.94 and KC of 0.92.

Table 2. Accuracy evaluation results for five combinations

| Combination number | Accuracy assessment | year 2023 | year 2021 | year 2019 |
|--------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| N1 | OA | 0.87 | 0.9 | 0.91 |
| | KK | 0.86 | 0.88 | 0.89 |
| N2 | OA | 0.86 | 0.86 | 0.85 |
| | KK | 0.82 | 0.83 | 0.81 |
| N3 | OA | 0.94 | 0.93 | 0.9 |
| | KK | 0.92 | 0.91 | 0.87 |
| N4 | OA | 0.88 | 0.93 | 0.85 |
| | KK | 0.85 | 0.91 | 0.8 |
| N5 | OA | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| | KK | 0.89 | 0.91 | 0.9 |

Note – compiled by the authors

In 2021, the N3 and N4 combinations showed similar results, with a slight difference in OA of 0.0033 and KC of 0.0028, respectively. In 2019, the best combination was N5, which achieved the results of OA - 0.92 and KK - 0.9. The lowest indicators were shown by the combination N2, which included spectral channels, spectral indices and the tree crown height layer. According to Table 2, the combination N3 shows better results compared to the combination N5, although the difference between them is insignificant.

The results show that the use of topographic indices can provide a moderate to high fit to the training data. This is supported by the fact that all combinations including these variables showed high performance, while their absence resulted in worse results.

This increase can be explained by the order of importance of the variables in Figure 3 for all input features. In all three time series, the Elevation layer was always rated as the most important for classification. Among the spectral indices, the EVI index had the greatest influence, and among the spectral channels, the NIR and Blue bands played the greatest role. Overall, the topographic indices and spectral channels showed significant influence and were active, while the Canopy Height layer had the least influence.

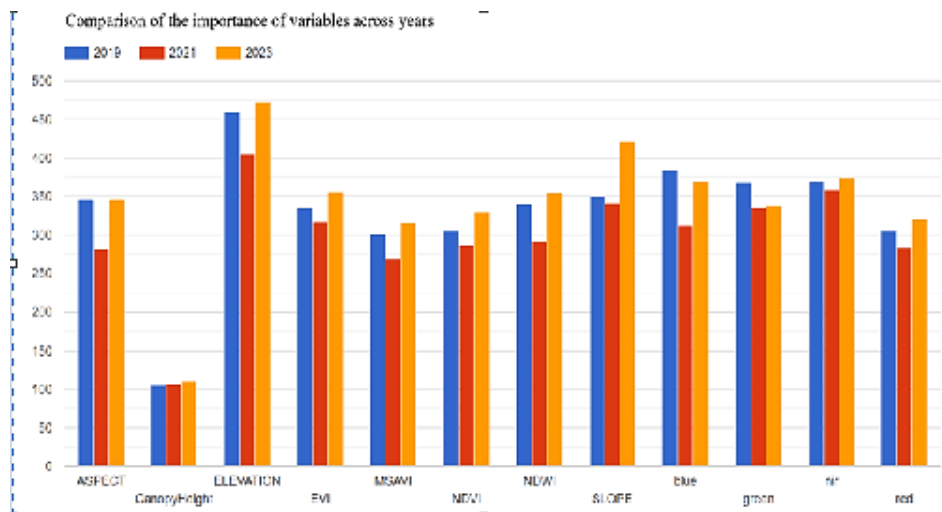


Figure 3. Comparison of the importance of variables for 2019, 2021, 2023

Note – compiled by the authors

Results of classification and analysis of change. Change detection is the process of identifying the differences between multiple raster datasets after performing classification and calculating vegetation indices. Based on the previous results, we selected the best classification combination N3 (Figure 4), and calculated the total area for each class in 2023 to analyze the changes in vegetation (Table 4). The spatial distribution of each class of vegetation cover is shown in the figure (map). According to the table, the largest territory is occupied by class 2, representing herbaceous vegetation, followed by class 4, open soil, which includes the entire earth's surface not covered by vegetation and water resources.

Table 4. Classroom area volume for 2019, 2021, 2023

| Class designation (km2) | 2023 | 2021 | 2019 |
|-------------------------|-------------|-------------|------------|
| 0 – trees | 560,108502 | 535,915764 | 642,222153 |
| 1 – shrubs | 50,115681 | 140,416371 | 43,2504 |
| 2 – grass | 1598,585184 | 1627,936533 | 1554,5142 |
| 3 – water | 14,397363 | 15,856929 | 16,528482 |
| 4 – bare soil | 675,131895 | 555,190722 | 642,925458 |
| 5 – snow | 57,408606 | 80,430912 | 56,306538 |

Note – compiled by the authors

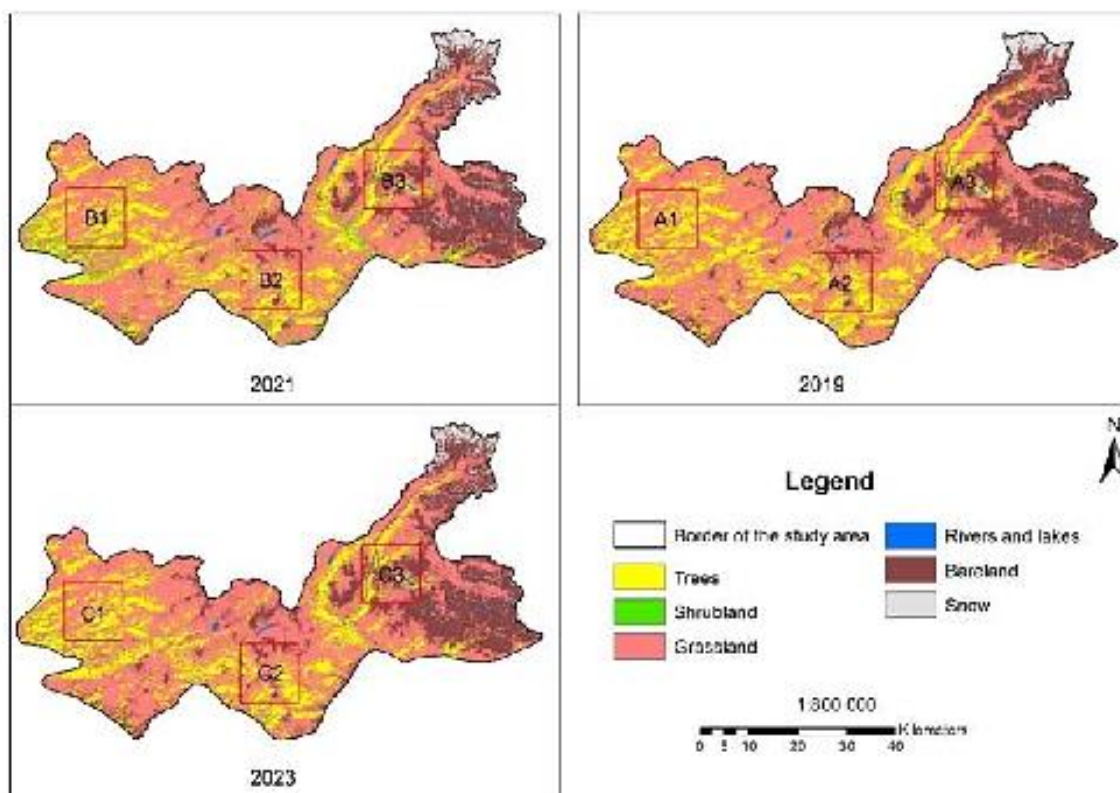


Figure 4. Map of vegetation cover of the study area for 2019, 2021, 2023 (combination N3)

Note – compiled by the authors

It is important to note that the time interval of the Planet Scope satellite data images has a significant impact on the classification results. As mentioned, the 2021 images are dated early July, while the 2019 images cover the period from early July to mid-August, which may lead to differences in snow and vegetation conditions between years. In Figure 5 with options A, B, C, you can clearly see the differences in the classifications for 2019, 2021 and 2023. In the "trees" class, the differences between the options are not particularly pronounced, while the "shrubs" and "open soil" classes demonstrate noticeable differences between 2021 and 2019, 2023 (the exact figures for the areas of the classes are presented in Table 4).

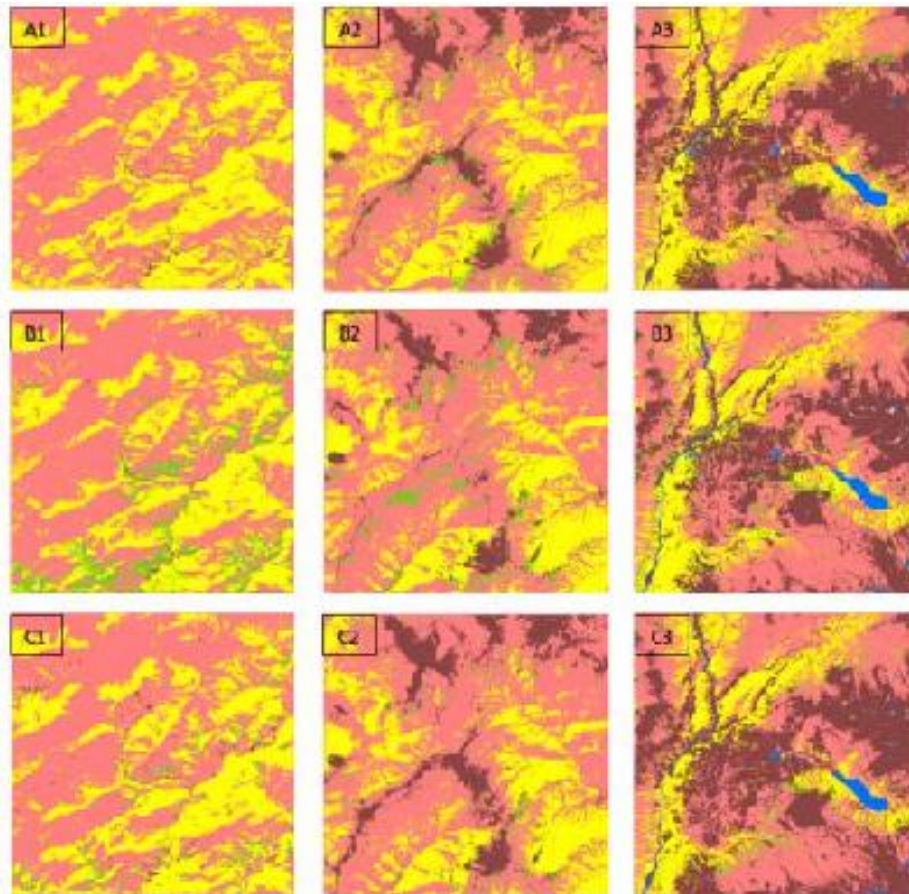


Figure 5. Comparison of RF classification results with the N3 combination set for 2019, 2021, 2023
Note – compiled by the authors

Sources of Error and Limitations of the Study. In this study, different feature variables had different effects on the land cover classification process. The main limitations of this work mainly relate to the differences between the satellite images obtained by Planet Scope and the reference data. Due to the limited data availability, including the lack of SWIR bands in the Planet Scope satellite images, spectral indices such as NDBI, NBR, NDSI, SVVI, which could improve the classification accuracy, were not calculated in this study (Pizarro, 2022). It is worth noting that mountainous areas often have cloud cover, which can make it difficult to obtain cloud-free images for the study area). Also, the final classification result was affected by the differences in the characteristics of the Planet Scope satellite sensors, which was reflected in the final composite images.

The choice of training data plays a key role in class assignment (Zeng, 2024). The amount and accuracy of training data used in the classifier training and testing phases were limited due to remote accessibility. This created difficulties in analyzing the classification results in combination with the available training dataset.

Conclusion. In this study, we present a comparative evaluation of five combinations of the RF algorithm using Planet Scope satellite imagery to generate vegetation type maps. Our analysis confirms that using different approaches to selecting input parameters results in different classification performances (OA varies from 0.8 to 0.94). The best performance was demonstrated by the N3 combination, which included topographic data, a tree crown height layer and four spectral channels, with an overall accuracy of 0.94 and a kappa coefficient of 0.92 for 2023. However, the performance of different combinations may vary depending on the characteristics of the study area and the data used.

The results of the study show that the use of cloud computing on the GEE platform and machine learning methods allows tracking the dynamics of vegetation change with further improvements to the method. Future research should focus on modern deep learning methods such as convolutional neural networks, which require extensive training data from field surveys and Planet Scope imagery. Further development of the methodology will reveal the full potential of digital vegetation mapping for addressing key ecosystem challenges.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgment. This research was supported by project IRN BR21882022 “Research of avalanche activity in the East Kazakhstan region for the development of monitoring systems and scientific justification for their placement”, funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

References

- Agarwal, A., Kenney, A., Tan, Y., Tang, T., Yu, B. (2023). MDI+: A flexible random forest-based feature importance framework, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.01932>.
- Amani M., Salehi B., Mahdavi S., Granger J.E., Brisco B., Hanson A. (2017). Wetland classification using multi-source and multi-temporal optical remote sensing data in Newfoundland and Labrador, Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 43(4), 360-373. <https://doi.org/10.1080/07038992.2017.1346468>.
- Breiman L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Dobričić D., Gašparović M., Medak D. (2021). Sentinel-1 and 2 time-series for vegetation mapping using random forest classification: A case study of northern Croatia. *Remote Sensing*, 13(12), 2321. <https://doi.org/10.3390/rs13122321>.
- Feddema J.J., Oleson K.W., Bonan G.B., Mearns L.O., Buja L.E., Meehl G.A., Washington W.M. (2005). The importance of land-cover change in simulating future climates. *Science*, 310(5754), 1674-1678. <https://doi.org/10.1126/science.1118160>.
- Fu B., Wang Y., Campbell A., Li Y., Zhang B., Yin S., Xing Z., Jin X. (2017). Comparison of object-based and pixel-based random forest algorithm for wetland vegetation mapping using high spatial resolution GF-1 and SAR data. *Ecological Indicators*, 73, 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.029>.
- Georganos S., Grippa T., Vanhuysse S., Lennert M., Shimoni M., Wolff E. (2018). Very high resolution object-based land use–land cover urban classification using extreme gradient boosting. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(5), 607-611, <https://doi:10.1109/lgrs.2018.2803259>.
- Gilang N., Dian A. A. (2021). Comparison of soil adjusted vegetation index (SAVI) and modified soil adjusted vegetation index (MSAVI) methods to view vegetation density in Padang city using Landsat 8 image. *International Remote Sensing Journal*, <https://doi: 10.24036/irsaj.v2i1.23>.
- Huang D., Xu S., Sun J., Liang S., Song W., Wang Z. (2017). Accuracy assessment model for classification result of remote sensing image based on spatial sampling. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1), 046023. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.11.046023>.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E., Gao X., Ferreira L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).

- Hengl T., Heuvelink G.B.M., Kempen B., Leenaars J.G.B., Walsh M.G., Shepherd K.D., et al. (2015) Mapping Soil Properties of Africa at 250 m Resolution: Random Forests Significantly Improve Current Predictions. *PLoS ONE* 10(6): e0125814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125814>.
- Mercier A., Betbeder J., Rumiano F., Baudry J., Gond V., Blanc L., Bourgoin C., Cornu G., Ciudad C., Marchamalo M., et al. (2019). Evaluation of Sentinel-1 and 2 time series for land cover classification of forest–agriculture mosaics in temperate and tropical landscapes. *Remote Sensing*, 11(8), 979. <https://doi.org/10.3390/rs11080979>.
- McFeeters S.K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- Pizarro S.E., Pricope N.G., Vargas-Machuca D., Huanca O., Ñaupari J. (2022). Mapping land cover types for highland Andean ecosystems in Peru using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(7), 1562. <https://doi.org/10.3390/rs14071562>.
- Phan T.N., Kuch V., Lehnert L.W. (2020). Land cover classification using Google Earth Engine and random forest classifier – the role of image composition. *Remote Sensing*, 12(15), 2411. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>.
- Sheykhmousa M., Mahdianpari M., Ghanbari H., Mohammadimanesh F., Ghamisi P., Homayouni S. (2020). Support vector machine versus random forest for remote sensing image classification: A meta-analysis and systematic review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 6308-6325, <https://doi:10.1109/jstars.2020.3026724>.
- Sun J., Ongsomwang S. (2023). Optimal parameters of random forest for land cover classification with suitable data type and dataset on Google Earth Engine. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1188093. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1188093>.
- Tolan J., Yang H.I., Nosarzewski B., Couairon G., Vo H. V., Brandt J., Spore J., Majumdar S., Haziza D., Vamaraju J., Moutakanni T. (2024). Very high resolution canopy height maps from RGB imagery using self-supervised vision transformer and convolutional decoder trained on aerial lidar. *Remote Sensing of Environment*, 300, 113888, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113888>.
- URL: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>
- Zeng X., Guo X., Jiang Y., Li W., Guo J., Zhou Q., Zou H. (2024). High-accuracy mapping of soil parent material types in hilly areas at the county scale using machine learning algorithms. *Remote Sensing*, 16(1), 91. <https://doi.org/10.3390/rs16010091>.
- Бельгибаев М.Е., Нурпейсова А. (2007). Шығыс Қазақстан облысының қорықтары. *География Казахстана и экология*, (5), 3-7. // Bel'gibaev M. E., Nurpeisova A. (2007). Shygyys Kazakhstan oblysynyn korykty. *Geografiya Kazakhstanana i ekologiya*, (5), 3-7.

Information about authors

Rakhymberdina Marzhan Yessenbekovna – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070010, Ust-Kamenogorsk, Serikbayev st, 19, Dean of the School of Earth, tel.87083698133, e-mail: MRakhymberdina@ektu.kz

Daumova Gulzhan Kamalbekkyzy – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070010, Ust-Kamenogorsk, Serikbayev st 19, Professor of the School of Earth, tel. 8-777-396-12-47, e-mail: GDaumova@edu.ektu.kz*

Zhussupova Gulsezim Kainarovna – Ionosphere Institute LLP, 050000, Almaty, Kamenskoye Plateau, Horticultural Association "Ionosphere", 117, engineer, tel. +7(771)1810428, e-mail: zhussupova51@gmail.com

Chettykbayev Ruslan Kairatovich – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070010, Ust-Kamenogorsk, Serikbayev st 19, Head of the Center for Competencies and Technology Transfer in the field of information technology, tel. 8-705-650-01-01, e-mail: rchettykbayev@edu.ektu.kz

Chepashev Daniker Vasilievich – Ionosphere Institute LLP, 050000, Almaty, Kamenskoye Plateau, Horticultural Association "Ionosphere", 117, Head of the Laboratory for Space Monitoring of Emergency Situations, tel. +7(707)4648943, e-mail: d.chepashev@ionos.kz

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_188
IRSTI 27.47.23:50.53.17

S.S. Smailova¹, M. Voronenko², S.K. Kumargazhanova¹,
Y.V. Blinayeva¹, A.S. Tlebaldinova¹

¹D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk,
The Republic of Kazakhstan

E-mail: ssmailova@edu.ektu.kz

E-mail: skumargazhanova@edu.ektu.kz*

E-mail: eblinaeva@edu.ektu.kz

E-mail: atlebaldinova@edu.ektu.kz

²Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

E-mail: mary_voronenko@i.ua

APPLICATION OF BAYESIAN NETWORKS TO DETERMINE THE IMPACT OF HIGHER EDUCATION ON ECONOMIC DEVELOPMENT

БАЙЕС ЖЕЛІЛЕРІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ДАМУҒА ЖОҒАРЫ БІЛІМ БЕРУДІҢ ӘСЕРІН АНЫҚТАУ

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАЗВИТИЕ

Abstract. In modern society, higher education institutions not only serve as educational and research centers but also exert a certain influence on the economy, politics, and social sphere of their presence region. Therefore, the question of evaluating the functioning of universities in a specific region in the interest of its sustainable development becomes relevant.

In this article, the authors propose a model for analyzing the influence of factors characterizing the state of the education system on the gross domestic product (GDP) of the country, based on the mathematical apparatus of Bayesian networks. The advantage of using Bayesian networks (BNs) lies in the robustness of these networks to incomplete, inaccurate, and noisy information. BNs are used for forecasting, direct and inverse modeling of complex relationships, and decision-making. The proposed model predicts the GDP based on factors such as funding for higher education, research activity, the number of students, and staff. The constructed Bayesian network allows not only direct forecasting of the GDP level based on factors characterizing the state of higher education but also inverse modeling, that is, determining which parameters need to be changed to achieve a certain level of GDP.

Keywords: Bayesian Networks, gross domestic product, higher education, economic development of the region, computer modelling.

Аңдатпа. Қазіргі қоғамда жоғары оқу орындары білім беру және ғылыми-зерттеу орталықтары ретінде ғана емес, сонымен аймақтың экономикасына, саясатына, әлеуметтік саласына белгілі бір әсер етеді. Сондықтан, аймақтардағы университеттердің жергілікті ортаның тұрақты дамуы үшін жұмыс істеуін бағалау мәселесі өзекті болып отыр.

Мақалада авторлар Байес желілерінің математикалық аппаратына негізделген білім беру жүйесінің күйін сипаттайтын факторлардың елдің жалпы ішкі өніміне (ЖІӨ) әсерін талдау моделін ұсынды. Байес желілерін (БЖ) пайдаланудың артықшылығы – олардың толық емес, дәл емес, шулы ақпарат жағдайыны төзімділігі. БЖ күрделі қатынастарды болжау, тікелей және кері модельдеу және шешім қабылдау үшін қолданылады. Ұсынылған модель жоғары білім беруді қаржыландыру, ғылыми-зерттеу қызметі, білім алушылар мен қызметкерлер саны сияқты факторларға байланысты ЖІӨ мөлшерін болжайды. Құрастырылған Байес желісі ЖІӨ деңгейінің жоғары білім беру жағдайын сипаттайтын факторларға тәуелділігін тікелей болжауға ғана емес, сонымен қатар кері модельдеуге, яғни ЖІӨ-нің Белгілі бір деңгейіне жету үшін қандай параметрлерді өзгерту керектігін болжауға көмектеседі.

Түйін сөздер: Байес желілері, жалпы ішкі өнім, жоғары білім, аймақтың экономикалық дамуы, компьютерлік модельдеу

Аннотация. В современном обществе высшие учебные заведения не только выступают в качестве образовательных и научно-исследовательских центров, но и оказывают определенное влияние на экономику, политику, социальную сферу региона своего присутствия. В связи с этим актуальным становится вопрос оценки функционирования университетов определенного региона в интересах его устойчивого развития.

В статье авторами предложена модель анализа влияния факторов, характеризующих состояние системы образования, на валовой внутренний продукт (ВВП) страны, основанная на математическом аппарате байесовских сетей. Преимущество использования байесовских сетей (БС) заключается в их устойчивости к неполной, неточной, зашумленной информации. БС используются для прогнозирования, прямого и обратного моделирования сложных взаимосвязей и принятия решений. Предложенная модель прогнозирует величину ВВП в зависимости от таких факторов, как финансирование высшего образования, научно-исследовательская деятельность, численность обучающихся и сотрудников. Построенная байесовская сеть позволяет проводить не только прямое прогнозирование зависимости уровня ВВП от факторов, характеризующих состояние высшего образования, но обратное моделирование, то есть какие параметры нужно изменить для достижения определенного уровня ВВП.

Ключевые слова: Байесовские сети, валовой внутренний продукт, высшее образование, экономическое развитие региона, компьютерное моделирование.

Introduction. Education has long been recognized as a crucial factor in economic development and dynamics. Higher education is widely regarded as a driving force behind growth and development in knowledge societies, as it contributes to stimulating research, knowledge, and economic growth.

An analysis of international and Kazakhstani publications dedicated to studying the relationship between education and the pace of economic growth has enabled the identification of the most interesting concepts and models.

It is necessary to note that most studies on the impact of higher education indicators on economic growth are based on the following approaches:

- traditional economic-based approach;
- skill-based approach;
- assessment of the university's contribution as a facilitator of regional innovation activity.

In addition, the above approaches are used to assess the contribution of higher education to various areas of the country's social life, such as economics, science and innovation, and human capital.

In (Valero & Reenen, 2019), based on the analysis of 15,000 universities from 1,500 regions, it is shown that universities have a positive impact on geographically proximate neighboring regions. The relationship between GDP per capita and universities is determined not only by the direct expenditures of the university, its staff, and students. In part, the impact of universities on economic growth is mediated by the increase in the supply of human capital and the growth of innovation.

The impact of education on economic growth in ASEAN-5 countries is evaluated in (Paravee & Woraphon, 2021) using various education indicators, including government spending on higher education per student, the level of coverage of primary, secondary, and higher education, the educated workforce, and a new indicator of unemployment rate with higher education. In this study, nonlinear regression models are being created – time series regression and panel regression – to study the impact of education breakpoints on the economic growth of individual countries and the ASEAN-5 region, respectively.

In the study by Kazakhstani scientists (Ashimova et al., 2021), an analysis of the competitiveness of the economies of several countries and the impact of innovation activity on this indicator is presented. The authors of the study examined the following parameters for 43 countries: the science intensity of GDP, the number of scientists per million people, education spending as a percentage of GDP, the number of national patent applications, high-

tech exports as a percentage of industrial exports, and ICT exports as a percentage of total exports.

According to recent research, educational services have become the most in-demand commodity, which means that education directly affects the formation of GDP, as it affects the quality of human capital and, as a result, the amount of income received from it. In general, education can be considered one of the main factors of economic growth and technological progress (Lehikoinen et al., 2019).

After studying the relationships between various factors influencing economic growth within the education system, key indicators selected for analysis include: funding for higher education, research activity, the number of students, and employees.

Currently, econometric methods are widely used to analyze the relationship between education factors and economic growth rates. However, traditional methods cannot handle large volumes of data, which are often unstructured and stored in various data sources. To successfully solve such tasks, it is necessary to use machine learning methods, neural networks, and other artificial intelligence methods.

In this study, the authors propose to use Bayesian networks to identify dependencies between GDP dynamics and factors such as research activity, the number of employees engaged in higher education, the number of students in higher education universities, education expenditures, and the number of organizations conducting scientific research. The advantage of using Bayesian networks lies in their resilience to incomplete, inaccurate, and noisy information, as even in such cases, the obtained result will reflect the most probable outcome of events.

BNs are a powerful tool for modeling probabilistic dependencies between variables and making decisions based on these dependencies. The probabilistic models used in Bayesian networks allow for uncertainty and working with limited knowledge. Such models play a key role in the development and application of artificial intelligence (AI), where uncertainties and causal relationships are common features of the problems under study (Litvinenko et al., 2020; Caprio et al., 2023; Shayahmetova et al., 2020).

AI uses BNs in various fields, including medicine, finance, bioinformatics, engineering, and more (Zhang et al., 2022; McLachlan et al., 2020; Shirali et al., 2022; Fedorova, 2022). In healthcare, BNs are used in disease forecasting, modeling complex interrelationships between diseases, providing personalized forecasts and diagnostic recommendations, assessing risk levels, and are utilized in other critical tasks (McLachlan et al., 2020; Kyrimi et al., 2020; Faruqi et al., 2020; Pescador et al., 2024). In finance, BNs play a crucial role in risk management and investment decision-making. Modeling market and economic indicators facilitates forecasting future market trends and investment portfolios, helping investors develop more effective strategies (Faruqi et al., 2020; Al-Azzawi et al., 2023; Bai et al., 2020; Zheng, 2024). In the industrial sector, BNs are used for preventive maintenance and optimization of production processes. By modeling equipment sensor data and production parameters, they enable early detection of equipment failure risks, thereby enhancing production efficiency (Shirali et al., 2022; Fedorova, 2022; Voronenko et al., 2020; Ebrahimi et al., 2024; Agnel et al., 2021; Shirali et al., 2022). In education, BNs are used in personalized learning, adaptive system development, academic performance forecasting, educational data analysis, and decision support for students and teachers, contributing to a more efficient and high-quality educational process (Chanthiran et al., 2022; Wang et al., 2024; Lytvynenko et al., 2019).

The aim of this article is to investigate the applicability of Bayesian networks in determining the relationship between indicators of higher education systems and the level of gross domestic product.

Materials and methods of research. The main stages of Bayesian network (BN) development are presented in Figure 1.

This section outlines the fundamental steps involved in constructing a Bayesian network (BN) for analyzing the relationship between education system indicators and GDP.

Data preparation: Defining the variables that are included in the model. These variables may include factors deemed significant for analysis or variables that could potentially impact the input data. In this study, the main factors are research activity, the number of education employees, the number of students in educational institutions, education expenditure, and the number of research institutions.

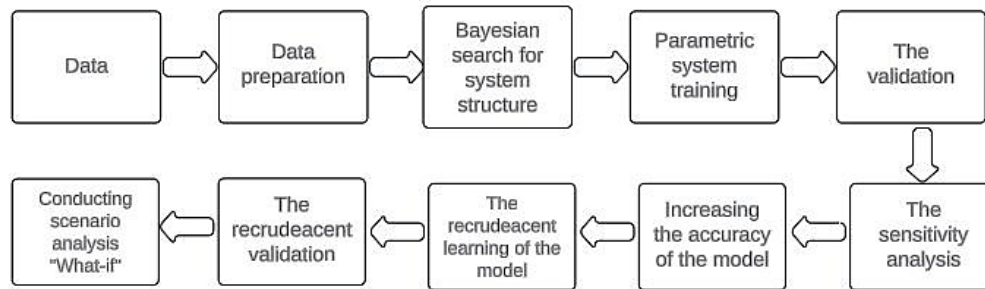


Figure 1. Generalized algorithm for developing a Bayesian network

Note – compiled by the authors on the basis of (Litvinenko N.G., 2020)

Building a network structure: Identifying relationships between variables and determining probabilities for each variable depending on its parents in the network. At this stage, it is determined which variables depend on others and which may be independent. This can be based on expert knowledge, statistical methods, or a combination of both. In this study, a conceptual model was built based on expert opinion and statistical data over a 10-year period.

Model training: At this stage, the network parameters are determined, allowing for refining the probabilities in the network and better matching real data.

Testing and evaluation: After building the model, it is necessary to conduct testing to ensure its effectiveness. This may include evaluating the model's quality on separate data sets, as well as testing its ability to predict new data.

Interpretation of results: Finally, the results of the model can be analyzed and interpreted to understand the influence of variables on the input data and identify possible ways to improve the model.

BN is a probabilistic graphical model, or a directed acyclic graph, whose nodes represent variables, such as random variables, and have multiple states. The directed edges of the graph indicate the direct dependence relationship of one variable on another. Each edge corresponds to a table of conditional probabilities of transitioning from states of the upper-level node to the state of the lower-level node. For the upper-level nodes, unconditional probabilities obtained from observations are specified. Formally, a BN network can be represented as follows:

$$BNN = \langle U, T \rangle, \tag{1}$$

where: $U = \{H_1, \dots, H_n\}$ is a finite ordered set of random variables such that for each $H_i \in U, i = \overline{1, n}$ satisfies the condition:

$$\exists \Pi_i \subseteq \{H_1, \dots, H_{i-1}\} | P(H_i | H_1, \dots, H_{i-1}) = P(H_i | \Pi_i), \tag{2}$$

This condition defines the direction of the links between the nodes in the network, implementing the property of conditional independence of variables. Each variable takes amount from the ending set of values, i.e. $H_i = \{h_{i1}, \dots, h_{ir_i}\}$, where $\sum_{j=1}^{r_i} P(h_{ij}) = 1$. $T = \{P(H_1 | \Pi_1), \dots, P(H_n | \Pi_n)\}$ is the set of dependent probability tables for each child variable H_i with parent variables Π_i . If the variable H_i has no parents, then unconditional probabilities $P(H_i)$ are used.

The foundation of the mathematical framework of Bayesian networks is the Bayes' theorem (3):

$$P(B|A) = \frac{P(A|B) \cdot P(B)}{P(A)}, \quad (3)$$

where:

$$P(A) = \sum_B P(A|B) \cdot P(B). \quad (4)$$

Here, the sum is taken over all possible hypotheses B . It should be emphasized that all possible theories form a system of mutually exclusive events, i.e., $\sum_B P(B) = 1$. The left-hand side of equation (3) $P(B|A)$ introduces the updated amount of the subjective probability of hypothesis B 's truth, obtained under observation A . This probability is called the posterior probability that hypothesis B is true [19,20]. The formula of total probability (4), the rule of generalized summation, and the chain rule. The first two have been discussed earlier. The power of generalized summary, or the sum rule, is called the equality:

$$P(A) = \sum_B P(A, B) \quad (5)$$

In the expression's right-hand side (5), the factor $P(B)$ represents the degree of our initial confidence that event B , which in this case is convenient to call a hypothesis, takes place. This probability is often referred to as the prior probability of the hypothesis B being true. $P(A|B)$ is the probability of obtaining observation A , given that hypothesis B is true [21,22]. The denominator $P(A)$ can be considered as a normalizing term since the likelihood of observation A can be found applying the equality:

$$P(A) = \sum_B P(A|B) \cdot P(B) \quad (6)$$

The formula of total probability (7), the rule of generalized summation, and the chain rule. The power of generalized overview, or the sum rule, is called the equality:

$$P(A) = \sum_B P(A, B), \quad (7)$$

The chain rule plays an essential role in constructing Bayesian networks as a means of identifying the conditional independence of variables that determine the network structure.

$$P(H_1, \dots, H_n) = \prod_{i=1}^n P(H_i | H_1, \dots, H_{i-1}), \quad (8)$$

where $H_1, \dots, H_n \in U$ is a finite set of variables corresponding to nodes of a BN.

Results. The relationship between the indicators is shown in the figure 2:

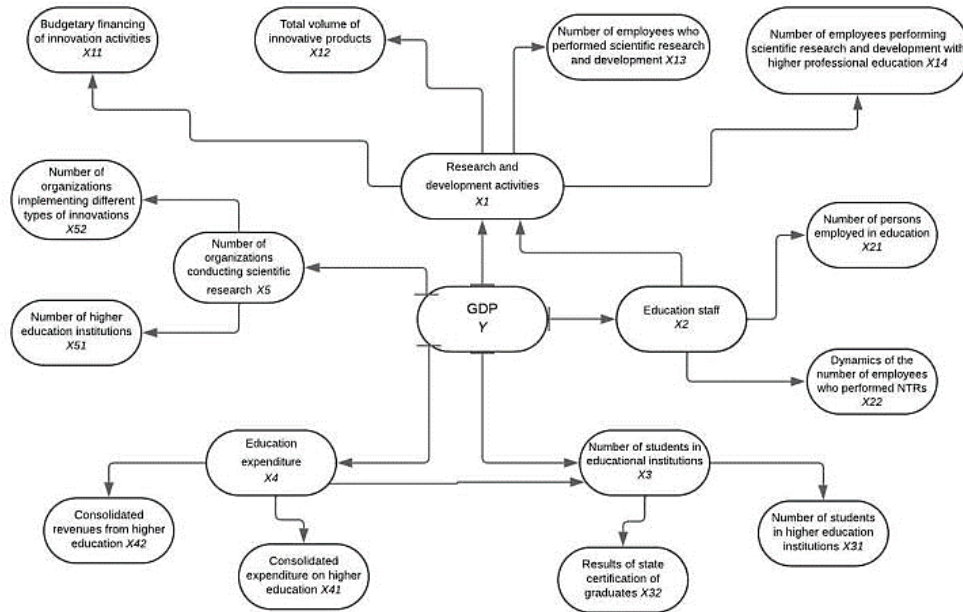


Figure 2. Conceptual model

Note – compiled by the authors

The presented model is based on expert knowledge and implemented in this work using GeNie 4.1 academic.

The original dataset for the study includes data on 18 indicators for the period from 2013 to 2022. Table 1 lists the indicators characterizing the state of higher education.

Table 1. Source Data

| Indicator, unit of measurement. | Years | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| X11, mln.tg | 431 993,8 | 655 361,0 | 655 361,0 | 1 528 645,9 | 899 681,8 | 856 449,5 | 535 918,1 | 777 173,5 | 785 705,0 | 1 453 339,1 |
| X12, mln.tg | 578263 | 580386 | 377196,7 | 445775,7 | 844734,9 | 1064067,4 | 1113566,5 | 1715500,1 | 1438708,5 | 1879123,1 |
| X13, person. | 23 712 | 25 793 | 24 735 | 22 985 | 22 081 | 22 378 | 21 843 | 22 665 | 21 617 | 22 456 |
| X14, person. | 20 658 | 22 779 | 21 889 | 20 447 | 19 896 | 20 272 | 19 818 | 20 778 | 19 761 | 20 578 |
| X21, unit. | 41 635 | 40 320 | 38 087 | 38 241 | 38 212 | 38 275 | 38 470 | 36 307 | 36 378 | 36 404 |
| X22, unit. | 19 802 | 19 802 | 19 204 | 19 259 | 18 589 | 18 472 | 18 867 | 17 545 | 17 313 | 17 115 |
| X31, person. | 477 387 | 477 387 | 459 369 | 477 074 | 496 209 | 542 458 | 604 345 | 576 557 | 575 511 | 578 237 |
| X32, person. | 175 446 | 175 446 | 145 443 | 138 007 | 126 263 | 129 085 | 142 762 | 140 655 | 151 091 | 161 524 |
| X41, mln.tg | 250262159 | 281075710 | 291967572 | 15 043 245 | 322201246 | 379688945 | 421733204 | 428859784 | 532455069 | 640309147 |
| X42, mln.tg | 272851236 | 290460037 | 310740847 | 14987971 | 319010855 | 346934693 | 391410328 | 416744256 | 499890104 | 598983099 |
| X51, unit. | 128 | 126 | 127 | 125 | 122 | 124 | 125 | 125 | 122 | 116 |
| X52, unit. | 1 774 | 1 303 | 2 585 | 2 879 | 2 974 | 3 230 | 3 206 | 3 236 | 2 960 | 3 390 |
| Y, mln.tg | 35999025,1 | 39675832,9 | 40884133,6 | 46971150 | 54378857,8 | 61819536,4 | 69532626,5 | 70649033,2 | 83951587,9 | 103765518 |

Note – compiled by the authors

The structural model of the Bayesian network, presented in Figure 3, was built taking into account expert assessments from domain specialists based on the conceptual model of the study.

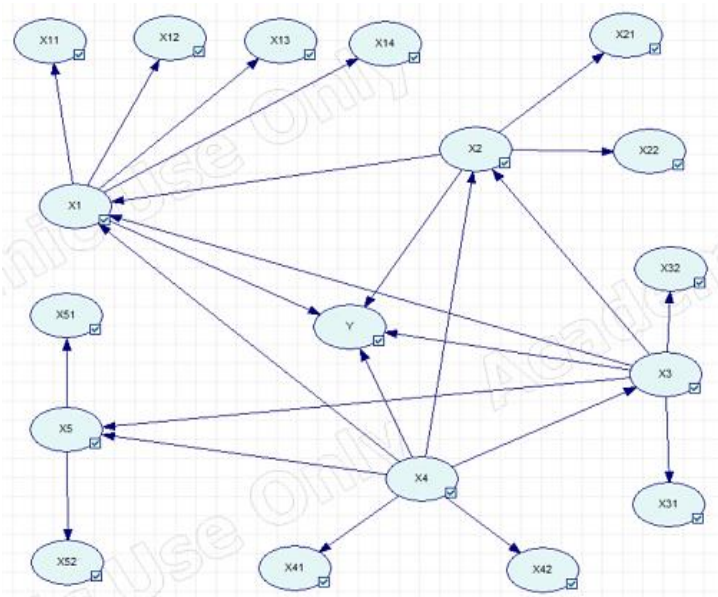


Figure 3. The structural model of the Bayesian network

Note – compiled by the authors

- The model contains:
 - 12 nodes of type GENERAL;
 - 5 key nodes of type Noisy-MAX;
 - 1 resulting node of type Noisy-MAX.

Each node has 5 states: from s1 to s5. The initial probabilities of the states are shown in Figure 4:

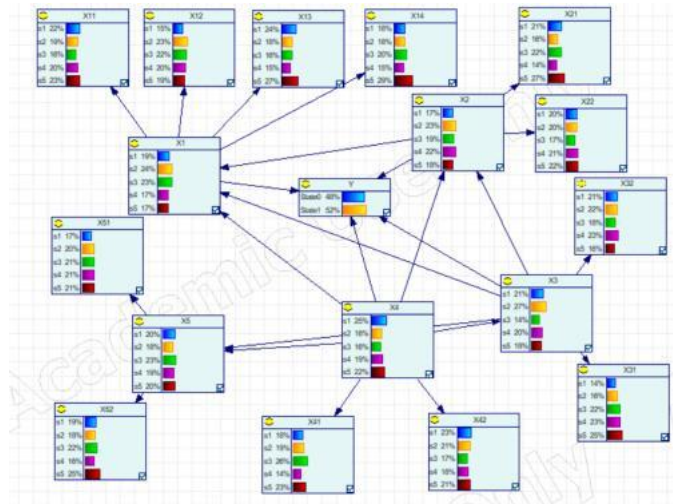


Figure 4. Initial probabilities of states

Note – compiled by the authors

After parameter training and initial network validation, the accuracy of the result was 64.86% (Figure 5). The next steps aim to increase the accuracy and adequacy of the model.

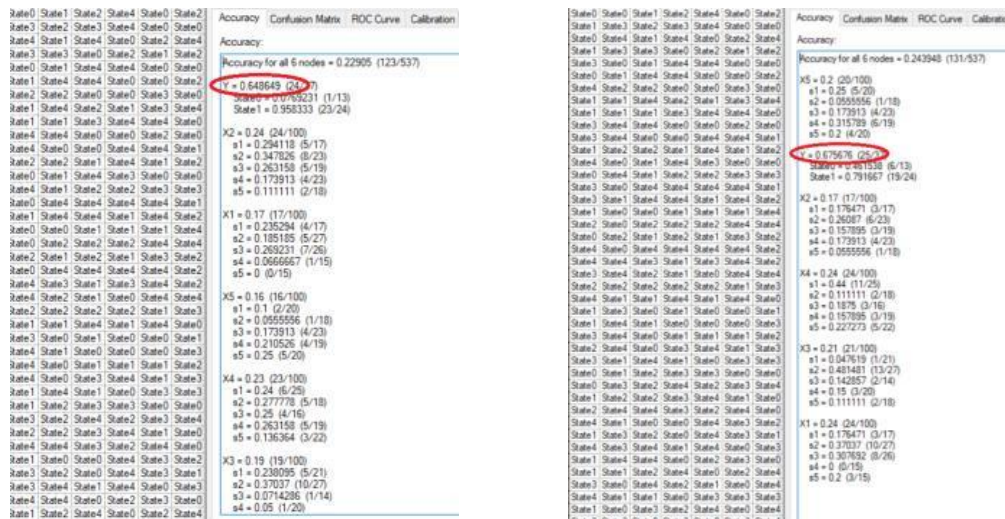


Figure 5. Initial and final accuracy of the resulting node

Note – compiled by the authors

The sensitivity analysis conducted revealed that all nodes are sensitive, indicating that the network responds to changes. Subsequently, aiming to increase the model accuracy, we replaced the key nodes: X1, X2, X3, X4, X5 of type GENERAL with Noisy-MAX. We are re-training the parameters and re-validating them. As a result, the accuracy of the resulting node was increased to 67.56% (Figure 5).

We analyze the relationship between indicators:

If the number of organizations engaged in scientific activities is increased to the maximum possible, the probability of an increase in the number of institutions implementing innovative technologies will increase by 19% (from the initial 25% to 44%), as shown in Figure 6.

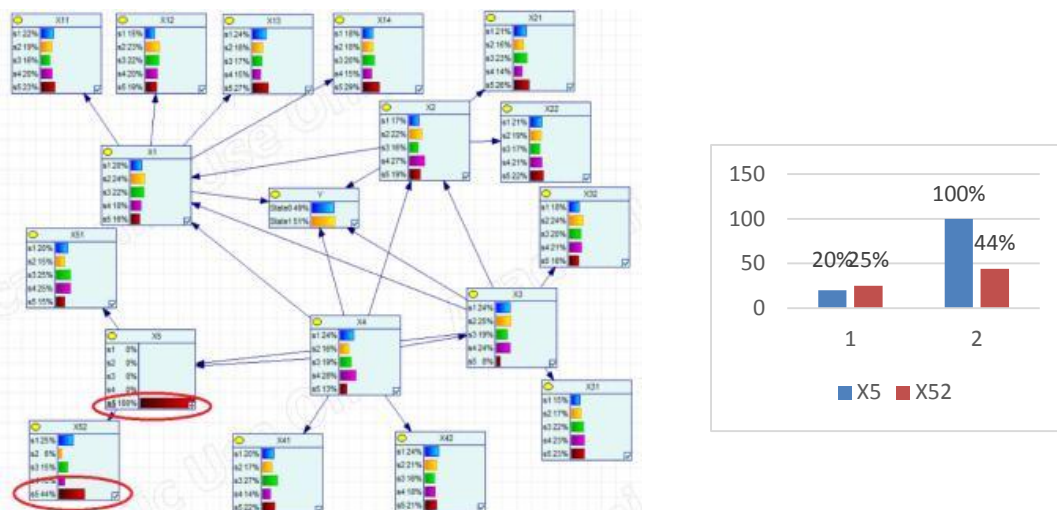


Figure 6. The effect of an increasing the number of organizations engaged in scientific activities

Note – compiled by the authors

Increasing scientific research activity will result in a 7% increase in the overall volume of innovative products (from 19% to 26%), as well as a 6% increase in employees engaged in scientific research (from 27% to 33%), as shown in Figure 7.

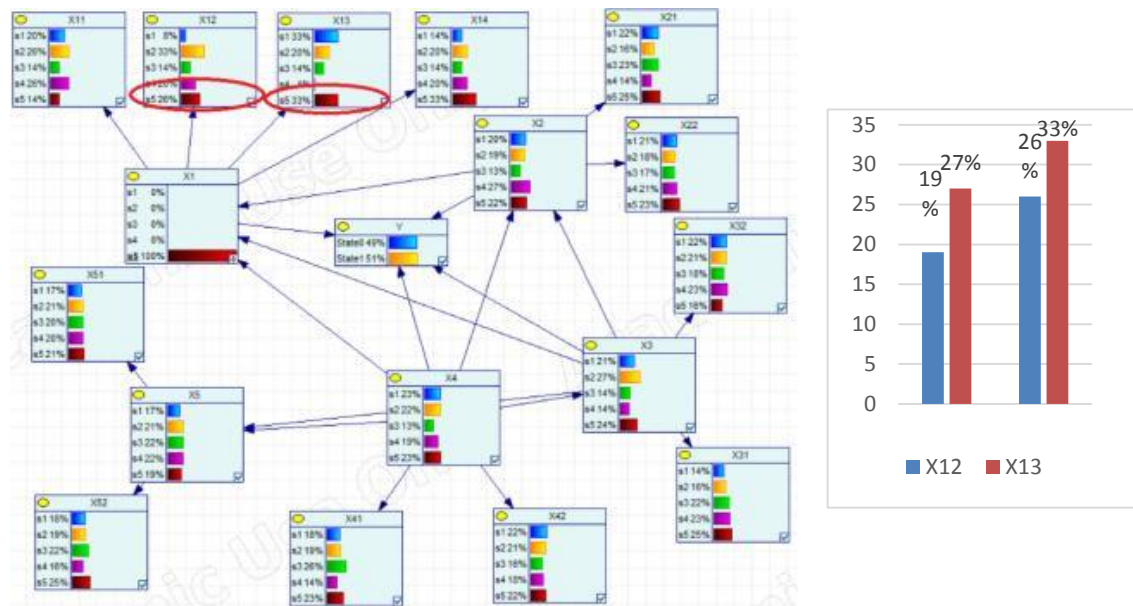


Figure 7. Effect of increasing scientific and technical activity

Note – compiled by the authors

As shown in Figure 8, increasing the number of education sector employees along with the growth in the number of students will lead to a 13% increase in the number of students in universities (from 25% to 38%), as well as a 7% increase in the country's GDP (from 52% to 59%):

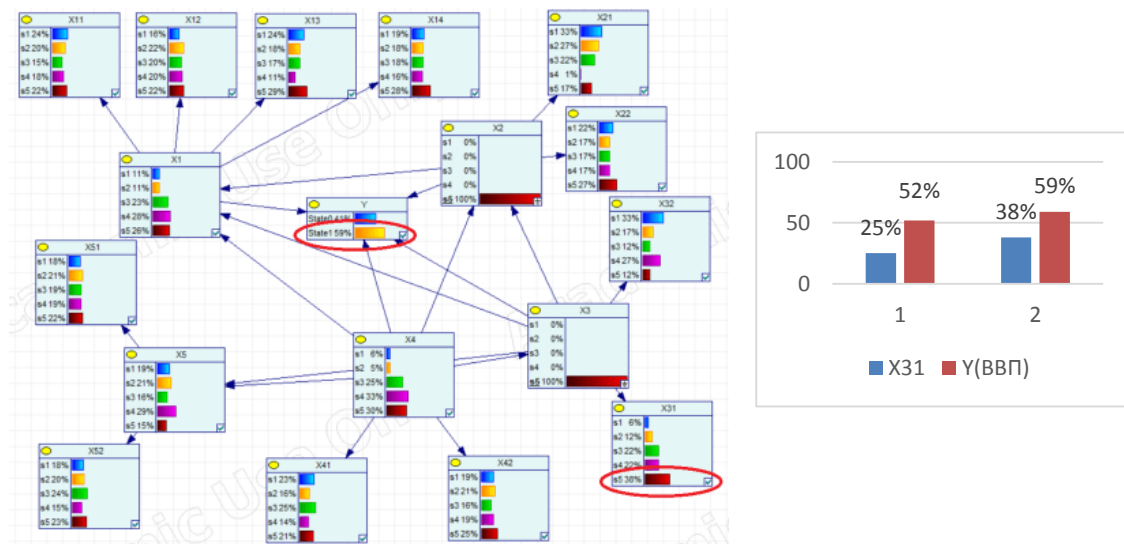


Figure 8. Factors Influencing GDP Growth

Note – compiled by the authors

The examples provided demonstrate that the tested method can be useful in assessing factors potentially influencing the state of indicators.

Conclusions. In conclusion, the findings of this study highlight the significance of Bayesian networks in analyzing indicators of higher education and their impact on economic outcomes. They offer insights into performance metrics, facilitate the integration of expert knowledge with empirical data, measure the impact of the higher education system on economic outcomes, and allow for "what-if" scenario modeling. The constructed Bayesian network enables not only direct forecasting of the GDP level based on factors characterizing the state of higher education but also reverse modeling, determining which parameters need to be altered to achieve a certain GDP level. This approach can play a crucial role in informing policy decisions and strategic planning in the education sector.

Further work aims to utilize the functionality of Bayesian networks with a broader range of indicators to investigate the influence of higher education on the economic development of the country.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. This work was carried out as part of the targeted program financing of the Committee for Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan on the topic BR21882257 "Development of a national model of engineering education in the context of achieving sustainable development goals" under contract No. 392-PCF-23-25 dated November 15, 2023.

References

- Valero, A., Van Reenen, J. (2019). The Economic Impact of Universities: Evidence from across the Globe. *Econ. Educ. Rev.* 68, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2018.09.001>.
- Paravee Maneujuk, Woraphon Yamaka (2021). The Impact of Higher Education on Economic Growth in ASEAN-5 Countries Sustainability, 13(2), 520. <https://doi.org/10.3390/su1302052>.
- Ashimova ZH.R., Epanchinceva S.E., Abitov ZH.Z., Abitova D.Z. (2021) Analiz vliyaniya innovacij na ekonomiku Kazahstana// Sbornik statej XXXVI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Moskva: «Nauchno-izdatel'skij centr «Aktual'nost'.RF», 204-215.
- Lehikoinen A., Olsson J., Bergström L., Bergström U., Bryhn A., Fredriksson R. and Uusitalo L. (2019). Evaluating Complex Relationships Between Ecological Indicators and Environmental Factors in the Baltic Sea: a Machine Learning Approach. *Ecological Indicators*. T. 101, 117-125. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.12.053.
- Litvinenko N.G., Mamyrbayev O.Zh., Shayahmetova A.S., Litvinenko A.G. (2020). BAJESOVSKIE SETI. TEORIYA I PRaktika. – Almaty: Institut informacionnyh i vychislitel'nyh tekhnologij, 2020 – 200 s. ISBN: 978-601-332-888-1.
- Caprio, M., Dutta, S., Jang, K., Lin, V., Ivanov, R., Sokolsky, O., & Lee, I. (2023). Imprecise Bayesian Neural Networks. ArXiv, abs/2302.09656. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.09656>.
- Shayahmetova A.S., Litvinenko N., Mamyrbayev O.ZH., Kasymova D.T. (2020) K VOPROSU RABOTY S BAJESOVSKIMI SETYAMI. Vestnik Kazahstansko-Britanskogo tekhnicheskogo universiteta, 17(3),180-186.
- Zhang, L., Liu, D., Wang, Z., & Wang, X. (2022). Bayesian Network Structure Learning and Application. *Mobile Information Systems*. <https://doi.org/10.1155/2022/7642339>.
- McLachlan, S., Dube, K., Hitman, G., Fenton, N., & Kyrimi, E. (2020). Bayesian Networks in Healthcare: Distribution by Medical Condition. *Artificial intelligence in medicine*, 107, 101912 . <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2020.101912>.
- Shirali, G.A., Afshin, D.K., Angali, K.A. et al. (2022) Modelling and assessing the influence of organizational culture norms on safety culture using Bayesian networks approach: the case of an oil industry. *Int J Syst Assur Eng Manag* 13, 304–317. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01233-5>.
- Fedorova, N. (2022). Bayesian networks for reliability analysis of technical system. Vestnik komp'iuternykh i informatsionnykh tekhnologii. <https://doi.org/10.14489/vkit.2022.01.pp.018-025>.
- Kyrimi, E., McLachlan, S., Dube, K., Neves, M., Fahmi, A., & Fenton, N. (2020). A Comprehensive Scoping Review of Bayesian Networks in Healthcare: Past, Present and Future. *Artificial intelligence in medicine*, 117, 102108 . <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2021.102108>.

- Faruqi, S., Alaeddini, A., Wang, J., & Jaramillo, C. (2020). A Functional Model for Structure Learning and Parameter Estimation in Continuous Time Bayesian Network: An Application in Identifying Patterns of Multiple Chronic Conditions. *IEEE access: practical innovations, open solutions*, 9, 148076 - 148089. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3122912>.
- Pescador, A.M., Lavrador, J.P., Lejarde, A. et al. (2024). Bayesian networks for Risk Assessment and postoperative deficit prediction in intraoperative neurophysiology for brain surgery. *J Clin Monit Comput*. <https://doi.org/10.1007/s10877-024-01159-w>.
- Al-Azzawi, A., Mora, F., Lim, C., & Shang, Y. (2023). An Artificial Intelligent Methodology-based Bayesian Belief Networks Constructing for Big Data Economic Indicators Prediction. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.0140588>.
- Bai, L., Zhang, K., Shi, H., An, M., & Han, X. (2020). Project portfolio resource risk assessment considering project interdependency by the fuzzy Bayesian network. *Complexity*, 2020, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2020/5410978>.
- Zheng, Q. (2024). Project financing risk evaluation based on Bayesian network. *Multimed Tools Appl*. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18308-7>.
- Voronenko, M., Naumov, O., Naumova, L., Topalova, E., Filippova, V., & Lytvynenko, V. (2020). Analysis of the Effectiveness of an Investment Project Using Statistical Bayesian Networks. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 408-411. <https://doi.org/10.1109/ACIT49673.2020.9208982>.
- Ebrahimi, A. and Mojtahedi, S. (2024), "Pattern analysis of auto parts failures in the after-sales service network; an interconnected approach of association rules mining and Bayesian networks in the automotive industry", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 41 No. 4, pp. 1185-1207. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2023-0031>.
- Agnel Cyriac Philip, Egils Ginters, Dilara Basdogan (2021). *INTERNATIONAL JOURNAL OF CIRCUITS, SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING*, Volume 15, 2021 - p. 913-927 DOI: 10.46300/9106.2021.15.98.
- Shirali, G.A., Afshin, D.K., Angali, K.A. et al. (2022). Modelling and assessing the influence of organizational culture norms on safety culture using Bayesian networks approach: the case of an oil industry. *Int J Syst Assur Eng Manag* 13, 304–317. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01233-5>.
- Chanthiran, M., Ibrahim, A. B., Abdul Rahman, M. H., & Mariappan, P. (2022). Bayesian Network Approach in Education: A Bibliometric Review Using R-Tool and Future Research Directions. *The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences*, 25, 17–25. <https://doi.org/10.55549/epess.1191900>.
- Wang, Keqin, Ting Wang, Tianyi Wang, and Zhiqiang Cai. (2024). "Research on Evaluation Methods for Sustainable Enrollment Plan Configurations in Chinese Universities Based on Bayesian Networks" *Sustainability* 16, no. 7: 2998. <https://doi.org/10.3390/su16072998>.
- Lytvynenko, V., Savina, N., Voronenko, M., Doroshchuk, N., Smalova S., Boskin, O., Kravchenko, T. (2019). Development, validation and testing of the Bayesian network of educational institutions financing Proceedings of the 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019, 2019, 1. – Pp. 412–417 DOI 10.1109/IDAACS.2019.8924307.

Information about authors

Smailova Saule Sansyzbaevna – PhD, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, ssmailova@edu.ektu.kz, +77771839752

Voronenko Mariia Alexandrovna – Candidate of Technical Sciences, Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine, mary_voronenko@i.ua, +80508788992

Kumargazhanova Saule Kumargazhanovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan saule.kumargazhanova@edu.ektu.kz, +77771839377

Blinaeva Elena Vasilievna – Candidate of Technical Sciences, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan eblinaeva@edu.ektu.kz, +77773157601

Tlebaldinova Aizhan Soltangaliyevna – PhD, Associate Professor, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, ATlebaldinova@edu.ektu.kz, +77057521522

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_199
MPHTI 20.23.27

М.М. Тогузова¹, Ф.Н. Балтабеков², А.К. Капасов³, Б. Апшикур⁴, В.П. Колпакова⁵
Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

¹E-mail: MToguzova@edu.ektu.kz*

²E-mail: migel_777.com@mail.ru

³E-mail: azamat040594@mail.ru

⁴E-mail: bake.ab@mail.ru

⁵E-mail: VKolpakova53@mail.ru

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В ОБЛАСТИ
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ЕРТИС**

**ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ ЖАҒДАЙЫН МОНИТОРИНГІЛЕУ САЛАСЫНДАҒЫ
АҚПАРАТТЫҚ-ТАЛДАМАЛЫҚ ПЛАТФОРМА ҮШІН ДЕРЕКҚОРДЫ ЖОБАЛАУ**

**DESIGNING A DATABASE FOR AN INFORMATION-ANALYTICAL PLATFORM IN THE
FIELD OF MONITORING THE STATE OF THE IRTYSH RIVER BASIN**

Аннотация. Современные методы мониторинга водных объектов требуют интеграции данных из различных источников для обеспечения точного и своевременного анализа их состояния. В условиях увеличения антропогенного воздействия на водные ресурсы создание эффективных систем управления и мониторинга экологического состояния водоемов становится актуальным вопросом. Информационно-аналитические платформы играют важную роль в сборе, хранении и анализе данных, предоставляя инструменты для визуализации и принятия решений. Эти платформы, поддерживаемые надежными базами данных, значительно повышают точность и оперативность мониторинга. Цель исследования состоит в проектировании эффективной и надежной базы данных для информационно-аналитической платформы, предназначенной для мониторинга состояния водных объектов. Методы исследования включают анализ и интеграцию данных из различных источников, таких как лабораторные анализы, полевые измерения, исторические и архивные данные, а также дистанционные методы, включая спутниковые снимки и аэрофотосъемку. Результаты исследования включают разработку концептуальной модели базы данных, идентификацию ключевых информационных сущностей и определение их атрибутов. База данных обеспечивает централизованное хранение данных, их структурирование и легкий доступ для анализа, что позволяет автоматизировать процесс мониторинга и повышает точность и оперативность получения данных о состоянии водных объектов. Практическая и теоретическая значимость результатов заключается в улучшении эффективности управления водными ресурсами, предоставлении удобных инструментов для анализа и визуализации данных, а также в создании надежного инструмента для дальнейшего мониторинга и анализа экологического состояния р. Ертіс.

Ключевые слова: мониторинг, база данных, загрязнение воды, ГИС-технологии, информационно-аналитическая платформа.

Аңдатпа. Қазіргі уақытта су объектілерін мониторингілеудің заманауи әдістері олардың жағдайын дәл және уақтылы талдау үшін әртүрлі көздерден алынған деректерді біріктіруді талап етеді. Антропогендік әсердің су ресурстарына ұлғаю жағдайында, су қоймаларының экологиялық жағдайын басқару және мониторингілеудің тиімді жүйелерін құру өзекті мәселе болып отыр. Ақпараттық-талдамалық платформалар деректерді жинау, сақтау және талдауда маңызды рөл атқарады, визуализация және шешім қабылдау үшін құралдар ұсынады. Бұл платформалар сенімді дерекқорлармен қолдау көрсетіліп, мониторингінің дәлдігі мен

жеделдігін едәуір арттырады. Зерттеудің мақсаты – су объектілерінің жай-күйін мониторингілеуге арналған ақпараттық-талдамалық платформа үшін тиімді және сенімді дерекқор жобалау. Зерттеу әдістері әртүрлі көздерден алынған деректерді, мысалы, зертханалық талдаулар, далалық өлшеулер, тарихи және мұрағаттық деректерді, сондай-ақ спутниктік суреттер мен аэрофототүсірілімді қоса алғанда қашықтан зондтау әдістерін талдауды және біріктіруді қамтиды. Зерттеу нәтижелері деректер базасының тұжырымдамалық моделін әзірлеуді, негізгі ақпараттық мәндерді анықтауды және олардың атрибуттарын анықтауды қамтиды. Дерекқор деректерді орталықтандырылған сақтауды, олардың құрылымдалуын және талдауға оңай қол жеткізуді қамтамасыз етеді, бұл мониторинг процесін автоматтандыруға және су объектілерінің жай-күйі туралы деректерді алудың дәлдігін және жеделдігін арттыруға мүмкіндік береді. Нәтижелердің практикалық және теориялық маңыздылығы су ресурстарын басқару тиімділігін арттыруда, деректерді талдау және визуализациялау үшін ыңғайлы құралдарды ұсынуда, сондай-ақ су қоймаларының экологиялық жағдайын одан әрі мониторингілеу және талдау үшін сенімді құрал жасауда көрінеді.

Түйін сөздер: мониторинг, дерекқор, судың ластануы, ГАЖ-технологиялар, ақпараттық-талдамалық платформа.

Abstract. Modern methods of monitoring water bodies require the integration of data from various sources to ensure accurate and timely analysis of their condition. With the increasing anthropogenic impact on water resources, the creation of effective systems for managing and monitoring the ecological state of water bodies becomes a pressing issue. Information-analytical platforms play a crucial role in collecting, storing, and analyzing data, providing tools for visualization and decision-making. These platforms, supported by reliable databases, significantly enhance the accuracy and efficiency of monitoring. The aim of the study is to design an efficient and reliable database for an information-analytical platform intended for monitoring the state of water bodies. The research methods include the analysis and integration of data from various sources, such as laboratory analyses, field measurements, historical and archival data, as well as remote sensing methods, including satellite images and aerial photography. The research results include the development of a conceptual database model, the identification of key informational entities, and the definition of their attributes. The database ensures centralized data storage, their structuring, and easy access for analysis, which allows automating the monitoring process and improves the accuracy and efficiency of obtaining data on the state of water bodies. The practical and theoretical significance of the results lies in improving the efficiency of water resource management, providing convenient tools for data analysis and visualization, as well as creating a reliable tool for further monitoring and analysis of the ecological state of water bodies.

Keywords: monitoring, database, water pollution, GIS technologies, information-analytical platform

Введение. Мониторинг загрязнения водных объектов является неотъемлемой частью системы экологической безопасности и устойчивого развития территорий. С увеличением антропогенной нагрузки на водные ресурсы растет риск загрязнения водоемов химическими веществами, тяжелыми металлами, органическими соединениями и другими вредными элементами, которые могут отрицательно воздействовать на экосистемы и здоровье человека. Введение систематического мониторинга водных объектов позволяет своевременно выявлять и оценивать степень загрязнения, что является необходимым для разработки и реализации эффективных мер по охране водных ресурсов (Венецианов, Аджиенко, 2018). Мониторинг загрязнения водных объектов включает разнообразные методы и технологии, направленные на получение точных и достоверных данных о состоянии водных ресурсов (Жаналиева, Багбеков & Манглиева, 2024). Эти методы можно классифицировать на физико-химические, которые позволяют оценить концентрацию различных загрязняющих веществ в воде, таких как: тяжелые металлы, органические соединения, питательные вещества и другие химические элементы; биологические, включающие использование живых организмов или их компонентов для оценки качества воды и наличия загрязнителей; дистанционные, используемые для мониторинга на основе спутниковых и аэрофотосъемочных данных состояния водных объектов на больших территориях, в том числе в труднодоступных местах. Для интегрирования, анализа и визуализации пространственных данных, полу-

ченных из различных источников, широко используются ГИС-технологии, которые позволяют эффективно обрабатывать и интерпретировать информацию, обеспечивая всесторонний подход к мониторингу состояния водных объектов и управлению водными ресурсами (Jaber, Surya, 2023; Huifen, Simin, 2020). Одним из таких инструментов является информационно-аналитическая платформа (геопортал), обеспечивающая комплексный подход к анализу данных. В последние десятилетия разработано множество информационно-аналитических платформ, которые используют различные технологии и методы для сбора, анализа и визуализации данных о состоянии водных объектов (Zhilnikova, 2018; Донцов, Суторихин, 2023; Andrianova, Yakubailik, 2019).

Некоторые известные геопорталы, связанные с мониторингом загрязнения водных объектов, включая Global Water Quality Monitoring Platform (глобальная платформа мониторинга качества воды), (Global Water Quality Monitoring Platform, 2024), European Environment Agency Water Information System for Europe (информационная система Европейского агентства по окружающей среде о воде), (European Environment Agency Water Information System for Europe, 2024), USGS National Water Information System (национальная информационная система по воде Геологической службы США) (USGS National Water Information System, 2024) и другие, позволяют исследователям, государственным органам и общественности получать доступ к актуальным и достоверным данным о состоянии водных ресурсов, что помогает принимать обоснованные решения и разрабатывать стратегии по защите и восстановлению качества воды. Дальнейшее развитие геопорталов будет продолжаться по мере развития технологий сбора и анализа данных, что позволит более точно и своевременно отслеживать качество воды. Кроме того, использование алгоритмов машинного обучения для анализа больших массивов данных даст возможность выявить возникающие закономерности и тенденции в данных о качестве воды.

Необходимость создания информационно-аналитической платформы для мониторинга состояния водных объектов обусловлена несколькими факторами. Во-первых, интеграция данных из различных источников и методов мониторинга позволяет получать более полную и точную картину состояния водных объектов. Во-вторых, использование современных ГИС-технологий для анализа и визуализации пространственных данных обеспечивает эффективную обработку и интерпретацию информации.

Информационно-аналитическая платформа позволит объединить разнородные данные, полученные из различных источников, в единую систему, что обеспечит удобный доступ к информации для широкого круга пользователей, включая ученых, экологов, государственных служащих и представителей общественности. Такая платформа также позволит автоматизировать процесс мониторинга, что повысит оперативность и точность получения данных о состоянии водных объектов. Важную роль в функционировании данной платформы играет база данных, которая служит ядром системы. База данных обеспечивает централизованное хранение всех собранных данных, их структурирование и легкий доступ для анализа.

Цель проектирования базы данных для информационно-аналитической платформы в области мониторинга состояния водных объектов состоит в создании эффективной, масштабируемой и надежной системы для хранения, обработки и анализа данных о состоянии водных ресурсов.

Сбор данных для системы мониторинга состояния водных объектов должен осуществляться из различных источников. Эти источники включают в себя лабораторные анализы воды, полевые измерения, исторические и архивные данные, а также результаты дистанционных методов исследования, таких как космические снимки, данные с БПЛА, водного дрона.

Литературный обзор. В последние десятилетия использование геоинформационных систем (ГИС) стало неотъемлемой частью мониторинга водных объектов и управления водными ресурсами, что обусловлено их высокой эффективностью в интеграции и анализе данных из разнообразных источников. ГИС-технологии предоставляют уникальные возможности для проведения пространственного анализа и обработки спутниковых снимков высокого разрешения, что позволяет обеспечить оперативную и точную оценку состояния экосистем в условиях нарастающего антропогенного воздействия. Преимущества применения ГИС в мониторинге водных объектов подробно рассмотрены в работах [Jaber et al., 2023; Feng & Zhang, 2020], где освещается значимость интеграции данных дистанционного зондирования и пространственного анализа для оценки качества водных ресурсов. Важные аспекты разработки интегрированных геоинформационных систем для экологического мониторинга обсуждаются в трудах [Dmitrenko et al., 2023], а вопросы применения алгоритмов машинного обучения для анализа пространственных данных и выявления долгосрочных тенденций в изменении качества водных ресурсов раскрыты в исследованиях [Kishi, Fuchs, 2018]. Эти работы подчеркивают важность комплексного подхода к использованию ГИС и современных методов анализа данных для решения задач мониторинга водных объектов, что делает их незаменимым инструментом в обеспечении экологической безопасности и устойчивого управления водными ресурсами.

Материалы и методы исследования. Важным этапом в разработке системы мониторинга является создание базы данных (БД). БД представляет собой систематизированную организацию данных, преобразованных в структуру, которая позволяет эффективно сохранять, управлять и извлекать информацию (Попова-Коварцева, Сопченко, 2019). Эта структура включает различные элементы, такие как таблицы, записи и поля, которые упорядочены и взаимосвязаны согласно определенным правилам. База данных обеспечивает централизованное хранилище информации, позволяя пользователям выполнять различные операции, включая добавление, обновление, удаление и поиск данных с целью оптимизации процессов обработки и анализа информации в различных областях (Тен, Когай, Коккоз & Мартыненко, 2017). Процесс разработки концептуальной модели базы данных основан на детальном анализе предметной области, идентификации ключевых сущностей и определении их атрибутов. Кроме того, важно учитывать взаимосвязи между сущностями и их зависимость от внешних факторов, чтобы обеспечить целостность и полноту данных (Kishi, Fuchs, 2018; Dontsov, Sutorikhin, 2024). Модель базы данных основывается на нескольких ключевых компонентах и принципах, которые обеспечивают ее эффективность и функциональность (рис. 1).



Рисунок 1. Модель базы данных

Примечание – составлено авторами

В ходе исследования нами были определены следующие информационные сущности: водный объект, проба воды, физико-химические параметры, загрязняющие вещества, метеорологические данные, морфологические характеристики, тип растительного покрова, биоиндикаторы, степень загрязненности, источники загрязнения.

Результаты и обсуждения. На основе выявленных сущностей были сформированы ключевые компоненты и атрибуты, которые необходимы для полноценного и точного мониторинга. Описание основных информационных сущностей:

- 1) водные объекты – реки, озера, водохранилища и другие водные объекты;
- 2) проба воды содержит информацию о времени и месте отбора пробы, а также о глубине, на которой была взята проба;
- 3) физико-химические параметры характеризуют физико-химические и биологические параметры воды;
- 4) источники загрязнения – объекты и процессы, которые могут вносить загрязнители в водные объекты;
- 5) гидрологические данные – информация о гидрологическом состоянии водных объектов;
- 6) метеорологические данные – погодные условия, влияющие на качество и состояние водных объектов;
- 7) полевые измерения – данные, полученные в ходе полевых исследований и наблюдений;
- 8) исторические данные – архивные данные о состоянии водных объектов и уровнях загрязнения.

Для информационных сущностей был определен их атрибутивный состав. Пример перечня атрибутов сущностей приведен в табл. 1.

Таблица 1. Пример атрибутивного состава информационных сущностей

| Сущность | Атрибут | Описание атрибута | Тип |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|------------|
| Водный объект | ID водного объекта | Уникальный идентификатор водного объекта | Число |
| | Название | Наименование водного объекта | Текст |
| | Тип | Категория водного объекта | Текст |
| | Площадь | Площадь водного объекта | Число |
| | Географическое расположение | Координаты | Число |
| Морфологические характеристики | ID морфологической характеристики | Уникальный идентификатор морфологических характеристик | Число |
| | Рельеф дна | Рельеф дна водного объекта | Текст |
| | Глубина | Глубина водного объекта | Число |
| Проба воды | ID пробы | Уникальный идентификатор пробы воды | Число |
| | Дата и время | Дата и время отбора пробы | Дата/время |
| | Местоположение | Координаты точки отбора пробы | Число |
| | Глубина отбора | Глубина, на которой была взята проба | Число |
| Физико-химические параметры | ID параметра | Уникальный идентификатор параметров | Число |
| | Температура | Температура воды | Число |
| | pH | Кислотность воды | Число |
| | Растворенный кислород | Количество растворенного кислорода | Число |

Окончание табл. 2

| | | | |
|---|------------------------------|---|-------|
| Загрязняющие вещества | ID загрязняющего вещества | Уникальный идентификатор загрязняющего вещества | Число |
| | Тяжелые металлы | Концентрация тяжелых металлов | Текст |
| | Органические загрязнители | Концентрация органических загрязнителей | Текст |
| | Питательные вещества | Концентрация нитратов, фосфатов и других веществ | Текст |
| Метеорологические данные | ID метеорологических данных | Уникальный идентификатор метеорологических данных | Число |
| | Температура воздуха | Температура воздуха | Число |
| | Влажность | Влажность воздуха | Число |
| | Скорость и направление ветра | Скорость и направление ветра | Текст |
| | Средняя глубина | Средняя глубина водного объекта | Число |
| <i>Примечание – составлено авторами</i> | | | |

Сбор данных для формирования БД включал различные источники, каждый из которых предоставлял уникальную и важную информацию для мониторинга состояния водных объектов. Лабораторные анализы проб воды, взятые из Ертисского водного бассейна, расположенного в Восточно-Казахстанской, Абайской и Павлодарской областях, обеспечили детальные физико-химические данные. Аэрофотоснимки, полученные с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), и данные батиметрической съемки с водного дрона позволили визуально контролировать состояние водоемов, предоставляя информацию о растительном покрове, степени загрязнения поверхности воды, рельефе дна (Toguzova, Rakhymberdina, Apshikur & Karasov, 2024). Данные многолетних наблюдений, полученные от государственных гидрометеорологических служб и экологических организаций, предоставили историческую перспективу, позволяя анализировать долгосрочные тенденции изменения качества воды. Гидрологические и метеорологические данные, предоставляемые автоматизированными станциями и государственными службами, помогли понять внешние условия, влияющие на водные объекты. Информация о растительном покрове и биоразнообразии, собранная в результате полевых исследований и дистанционного зондирования, дала представление об экологическом состоянии водоемов (Apshikur, Rakhymberdina, Karasov & Toguzova, 2024). Данные об источниках загрязнения, собранные из отчетов промышленных предприятий, указали на антропогенные воздействия, влияющие на качество воды. Такой комплексный подход к сбору данных обеспечивает всесторонний мониторинг и анализ состояния водных объектов.

Следующим этапом проектирования является выбор СУБД для хранения всех данных геопортала. На сегодняшний день PostgreSQL является одним из самых популярных и распространенных систем управления базами данных с собственными типами для работы с геоданными, что является оптимальным вариантом (СУБД PostgreSQL: принцип работы, преимущества и недостатки, 2024). Во-первых, PostgreSQL вместе с расширением PostGIS предоставляет мощные средства для хранения, обработки и анализа географических данных. Во-вторых, PostgreSQL может эффективно обрабатывать большие объемы данных и поддерживать множество одновременных пользователей и операций, что особенно важно для геопортала, работающего с большим

количеством географической информации. Кроме того, PostgreSQL поддерживает расширения, которые позволяют добавлять новые функции и типы данных, адаптируя систему к конкретным требованиям проекта, а также широкий набор функций безопасности, включая аутентификацию, шифрование, контроль доступа на уровне строк и политик безопасности, что обеспечивает защиту данных (Реляционные СУБД. PostgreSQL, 2024). Наконец, PostgreSQL и PostGIS широко используются в ГИС-приложениях и геопорталах благодаря своей совместимости с различными ГИС-платформами и инструментами, такими как QGIS, GeoServer и MapServer. Таким образом, выбор PostgreSQL с расширением PostGIS для СУБД геопортала является оптимальным решением благодаря его поддержке пространственных данных, масштабируемости, производительности, активному сообществу, безопасности и возможности интеграции с ГИС-инструментами.

Для понимания взаимодействия между выявленными ранее информационными сущностями на рис. 2 приведена ER-диаграмма (диаграмма «сущность - связь»).

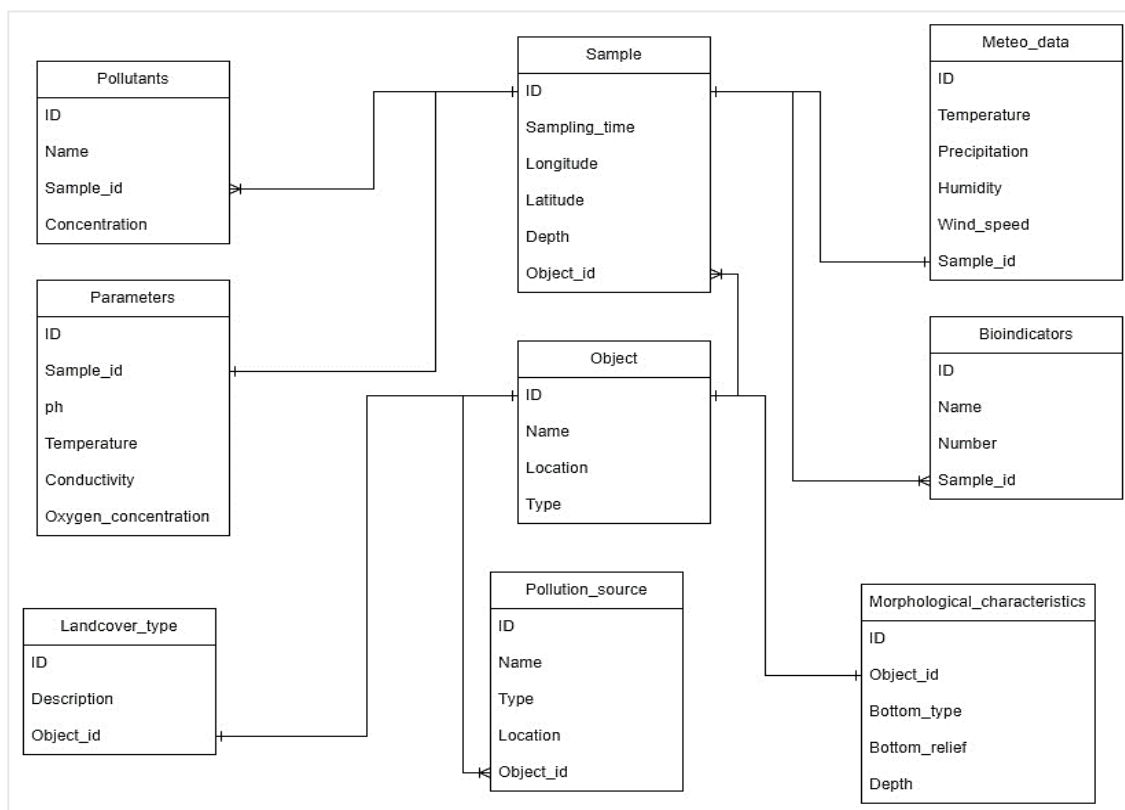


Рисунок 2. ER-диаграмма базы данных

Примечание – составлено авторами

ER-диаграмма (Entity-Relationship Diagram) наглядно демонстрирует связи между различными компонентами системы мониторинга состояния водных объектов. Взаимосвязи между сущностями через внешние ключи обеспечивают логическую согласованность и целостность данных в базе данных. Различные данные о водных объектах, пробах воды, физико-химических параметрах, загрязняющих веществах, метеорологических данных, морфологических характеристиках, типах растительного

покрова, биоиндикаторах и источниках загрязнения структурированы и связаны между собой. Это обеспечивает целостность данных и позволяет эффективно управлять информацией для мониторинга состояния водных объектов.

Заключение. Проектирование базы данных для платформы мониторинга состояния водных объектов является важным этапом в создании эффективной системы управления водными ресурсами. В процессе проектирования была разработана инфологическая модель, включающая основные сущности. Каждая сущность была тщательно проанализирована и описана с учетом ее атрибутов и взаимосвязей, что позволило создать целостную и логически связанную структуру данных. Сбор данных для формирования базы данных осуществлялся из различных источников. Такой подход позволил получить более точный и достоверный анализ состояния водных объектов. Логическая структура базы данных фокусируется на организации данных и их взаимосвязей для эффективного управления информацией. Физическая структура базы данных была разработана с учетом требований к производительности и безопасности и включает создание таблиц, индексов и оптимизацию хранения данных на физических носителях. Созданная база данных позволяет автоматизировать процесс сбора, хранения и анализа данных о состоянии водных объектов, обеспечивая удобный доступ к информации пользователям информационно-аналитической платформы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование проводилось в рамках ПЦФ № BR 21881921 «Оценка водной экосистемы бассейна р. Ертис в условиях индустриального развития и глобальных процессов», финансируемого Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список литературы

- Andrianova A., Yakubailik O. (2019). Geoinformational Web-System for the Analysis of the Expansion of the Baikal Crustaceans of the Yenisei River. – DOI: 10.1007/978-3-030-11720-7_17
- Apshikur B., Rakhymberdina M.Ye., Kapasov A.K., Toguzova M.M., Kolpakova V.P. (2024). Investigation of the processes of ecological and ecosystem changes in water bodies using UAV data // Вестник ВКТУ. – № 1. – С. 36-48
- Dmitrenko I.A., Kirillov S.A., Ivanov V.V., Rudels B., Serra N., & Koldunov N.V. (2012). Modified Halocline Water over the Laptev Sea Continental Margin: Historical Data Analysis. Journal of Climate, 25(16), 5556-5565. DOI 10.1175/JCLI-D-11-00336.1
- Dontsov A.A., Sutorikhin I.A., Kirillov V.V., Lovtskaya O.V. (2024). Integrated geoinformation system for environmental monitoring of the Ob-Irtysh river basin // Computational technologies. – V. 29. – № 2. – P. 69-78.
- European Environment Agency Water Information System for Europe. – URL: <https://water.europa.eu> (дата обращения 20.07.2024)
- Global Water Quality Monitoring Platform. – URL: <https://www.unep.org/explore-topics/water/what-we-do/monitoring-water-quality> (дата обращения 20.07.2024)
- Huifen Feng, Simin Zhang (2020). Application of High Resolution Remote Sensing in Water Quality Monitoring of Plain Reservoir // Geomatics Science and Technology. – 08(03):114-122 DOI: 10.12677/GST.2020.83014
- Jaber Bin Abdul Bari, Surya Prakash Tiwari, Alaeldeen Ibrahim Elhaj, Bijoy Mitra (2023) GIS-Based Modelling for Estimation of Water Quality Parameters: A Review // Geospatial Analytics for Environmental Pollution Modeling. DOI: 10.1007/978-3-031-45300-7_3
- Kishi R.T., Fuchs S., Hermann H.H. (2018). Integrated use of spatial data and learning algorithms to detect water quality trends // IAPRS. – Vol. 32, Part 4. – Pp. 282-292
- Toguzova M.M., Rakhymberdina M.Ye., Apshikur B., Kapasov A.K., Kolpakova V.P. (2024). Development of ecological state maps of the Yertysh river territory using uavs for monitoring changes in the region's

- ecological balance // Proceedings, 9th International Conference on Cartography and GIS, 16-21 June, Nessebar, Bulgaria. – Pp. 291-299
- USGS National Water Information System. – URL: <https://www.usgs.gov/tools/national-water-information-system-nwis-mapper> (дата обращения 20.07.2024)
- Zhilnikova N. (2018). Geoinformation modelling system of natural technical complexes for simulation modelling and optimization of load distribution // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 450. 062010. DOI: 10.1088/1757-899X/450/6/062010
- Венецианов Е.В., Аджиенко Г.В. (2018). Современные проблемы оценки, регулирования и мониторинга качества поверхностных вод // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – № 1. – С. 48-58 // Venecianov E.V., Adzhienko G.V. (2018). Sovremennyye problemy ocenki, regulirovaniya i monitoringa kachestva poverhnostnykh vod // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. – № 1. – С. 48-58
- Донцов А.А., Суторихин И.А., Кириллов В.В., Ловцкая О.В. (2023). Development of integrated geoinformation system arctic-GIS. – 57-61. DOI: 10.25743/DIR.2022.70.67.010 // Doncov A.A., Sutorihin I.A., Kirillov V.V., Lovckaya O.V. (2023). Development of integrated geoinformation system arctic-GIS. – 57-61. DOI: 10.25743/DIR.2022.70.67.010
- Жаналиева Р.Н., Багбеков Р., Манглиева Ж.Х. (2024). Изучение проблем водных ресурсов Казахстана и стран в Центральной Азии // Journal of Advances in Engineering Technology. - Vol.2(14) DOI: 10.24412/2181-1431-2024-2-58-65 // Zhanaliev R.N., Bagbekov R., Manglieva ZH.H. (2024). Izuchenie problem vodnykh resursov Kazahstana i stran v Central'noj Azii // Journal of Advances in Engineering Technology. – Vol.2(14) DOI: 10.24412/2181-1431-2024-2-58-65
- Попова-Коварцева Д.А., Сопченко Е.В. (2019). Основы проектирования баз данных: учеб. пособие – Самара: Изд-во Самарского университета. – С. 112 // Popova-Kovartseva D.A., Sopchenko E.V. (2019). Osnovy proektirovaniya baz dannyh: ucheb. posobie. – Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta. – Pp. 112
- Реляционные СУБД. PostgreSQL. – URL: <https://victor-komlev.ru/relyatsionnye-subd-postgresql/> (дата обращения 20.07.2024) // Реляционные СУБД. PostgreSQL. – URL: <https://victor-komlev.ru/relyatsionnye-subd-postgresql/> (дата обращения 20.07.2024)
- СУБД PostgreSQL: принцип работы, преимущества и недостатки. – URL: <https://serverflow.ru/blog/stati/subd-postgresql-printsip-raboty-preimushchestva-i-nedostatki/> (дата обращения 20.07.2024) // SUBD PostgreSQL: princip raboty, preimushchestva i nedostatki. – URL: <https://serverflow.ru/blog/stati/subd-postgresql-printsip-raboty-preimushchestva-i-nedostatki/> (data obrashcheniya 20.07.2024)
- Тен Т.Л., Когай Г.Д., Коккоз М.М., Мартыненко О.В. (2017). Проектирование баз данных: учеб. пособие. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 96 с. // Ten T.L., Kogaj G.D., Kokkoz M.M., Martynenko O.V. (2017). Proektirovanie baz dannyh: Uchebnoe posobie. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 96 s

Information about authors

Toguzova Marzhan Melsovna – PhD, associate professor of the School of Earth Sciences, D.Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: MToguzova@edu.ektu.kz, tel.: 87771476906

Baitabekov Galimzhan Nurzhanuly – IT specialist, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: migel_777.com@mail.ru

Kapasov Azamat Kaisarovich – master of science, lecturer of the School of Earth Sciences, D.Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: azamat040594@mail.ru

Apshikur Baitak – Professor at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: bake.ab@mail.ru

Kolpakova Valentina Pavlovna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the School of Architecture, Construction and Energy, D. Serikbayev EKSTU, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: VKolpakova53@mail.ru

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_208
MFTAA 44.29.01

А.Е. Тукушова¹, С.Ж. Рахметуллина¹, А.В. Пененко²

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

*E-mail: araylym.tukushova@mail.ru**

E-mail: SRakhmetullina@edu.ektu.kz

²PFA СБ Есептеу математикасы және математикалық геофизика институты,
Новосибирск қ., Ресей

E-mail: a.penenko@yandex.ru

ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫ ДЕРЕКТЕР МЫСАЛЫНДА АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫҢ ЛАСТАНУЫН БОЛЖАУ АЛГОРИТМІН ӨЗІРЛЕУ

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR PREDICTING ATMOSPHERIC AIR POLLUTION USING THE EXAMPLE OF DATA OF THE CITY OF UST-KAMENOGORSK

Аңдатпа. Атмосфералық ауаның ластануы қазіргі қалалардың өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Бұл мақалада Өскемен қаласының деректері мысалында ауаның ластану деңгейін болжау алгоритмін өзірлеу қарастырылады. Экологиялық мониторинг міндеттерінде машиналық оқытуды пайдалану қауіпті тенденцияларды уақтылы анықтауға және зиянды азайту үшін шаралар қабылдауға мүмкіндік береді. Жұмыста модельді дамытудың негізгі кезеңдері, деректерді талдау, алгоритмді таңдау және оның дәлдігін бағалау сипатталған.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, TCN моделі, атмосфераның ластануы, болжау, нейрондық желі.

Аннотация. Загрязнение атмосферного воздуха является одной из актуальных проблем современных городов. В данной статье рассматривается разработка алгоритма для предсказания уровня загрязнения воздуха на примере данных города Усть-Каменогорск. Использование машинного обучения в задачах экологического мониторинга позволяет своевременно выявлять опасные тенденции и принимать меры для минимизации вреда. В работе описаны основные этапы разработки модели, анализ данных, выбор алгоритма и оценка его точности.

Ключевые слова: машинное обучение, модель TCN, атмосферное загрязнение, прогнозирование, нейронная сеть

Abstract. Atmospheric air pollution is one of the urgent problems of modern cities. This article discusses the development of an algorithm for predicting the level of air pollution using the example of data from the city of Ust-Kamenogorsk. The use of machine learning in environmental monitoring tasks makes it possible to identify dangerous trends in a timely manner and take measures to minimize harm. The paper describes the main stages of model development, data analysis, algorithm selection and evaluation of its accuracy.

Keywords: machine learning, TCN model, atmospheric pollution, forecasting, neural network

Кіріспе. Қоғамның тұрақты дамуын қамтамасыз ету табиғи ортаның тұрақты жағдайынсыз мүмкін емес. Атмосфералық ауа тіршілік ету ортасының қажетті бөлігі болып табылады және адам денсаулығына айтарлықтай әсер етеді (Sokhi, R. S., et al., 2022, Oliveri Conti, G., Heibati, B., Kloog, I., et al., 2017, Duisebekova K.S., et al., 2020).

Өнеркәсіптік қаланың атмосфералық ауа сапасының мониторингі жүйесіндегі өзекті міндеттер: атмосфералық ауаның ластануын модельдеу және болжау; ластану көздерінің орналасуы мен қуатын бағалау; қоспалар көздерінен бөлінетін ластанушы заттардан барынша зардап шеккен аумақтарды айқындау болып табылады. Математикалық модельдеу әдістерін, ақпараттық технологияларды және бақылау деректерін ортақ пайдалану қоршаған ортаны бақылау мәселелерін шешудің тиімді құралы болып табылады. Бұл үнемі өзгеріп отыратын параметрлер жағдайындағы жағдайды кез келген уақытта бағалауға ғана емес, сонымен қатар атмосфералық ауаның сапасын жақсартуға бағытталған іс-шараларды ұйымдастыру бойынша басқарушылық шешімдер қабылдау үшін ұсыныстарды уақтылы дайындауға мүмкіндік береді (А.В. Пененко, С.Ж. Рахметуллина, 2013).

Зерттеу жұмысының мақсаты: Болжау моделдерін салыстырып, тиімді модельді таңдап, таңдалған болжау моделі негізінде атмосфералық ауаның ластануын болжау алгоритмін әзірлеп, Өскемен қаласы деректер мысалында нәтижелер алу.

Соңғы уақытта машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып болжау алгоритмдері атмосфералық ауаның ластануы саласында белсенді түрде әзірленуде және қолданылуда:

- ластану деңгейін болжау үшін қолдануға болады, бұл халықтың денсаулығына қауіп төндіретін аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді,

- улы заттардың шығарындылары немесе бөлшектердің жоғары концентрациясы сияқты ауаның ластануының экстремалды мәндерінің пайда болуын болжауға көмектесуі мүмкін, бұл қоғамды алдын ала қорғау үшін шаралар қабылдауға мүмкіндік береді,

- шектеулі ресурстарды ластану нормативтерінен асып кету ықтималдығы жоғары жерлерге және уақыттарға бағыттауға көмектесетін ауа сапасын бақылау жүйелерін оңтайландыру үшін пайдалануға болады,

- қоршаған ортаны қорғаудың тиімді стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік беретін ауаның сапасына ластануды азайту жөніндегі түрлі шаралардың ықтимал әсерін бағалау үшін жұмылдырылуы мүмкін.

Осылайша, машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, атмосфералық ауаның ластануын болжау, ауа сапасын бақылау мен басқарудың тиімділігін арттырудың және қоршаған орта мен адамдардың денсаулығын қорғаудың тиімді шараларын әзірлеудің маңызды құралы болып табылады (Surakhi O., Serhan S., Salah I., 2020, Yue-Shan Chang, et al., 2020, Hsin-Ta Chiao, et al., 2020, Labusov M.V., 2020).

Материалдар және зерттеу әдістері

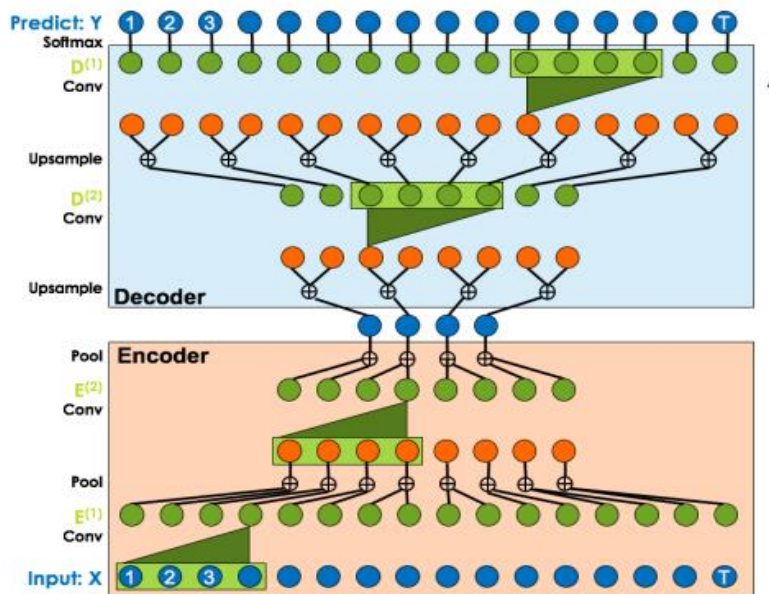
Ауаның ластануын талдауға және болжауға арналған заманауи бағдарламалық орта машиналық оқыту әдістері мен нейрондық желілерді қолдануға негізделген. Қазіргі уақытта уақыт қатарларын болжауға арналған ең танымал нейрондық желілерге: қайталанатын нейрондық желі (ағылш. Recurrent Neural Network; RNN), оның ішінде қысқа жиілікті жад элементтерінің ұзын тізбегін пайдаланатын сандар мен нейрондық желілер (ағылш. Long short-term memory; LSTM) және аддитивті регрессиясы бар нейрондық желі (ағылш. Prophet), уақытша конволюциялық желілер (Temporal Convolutional Networks).

Уақытша конволюциялық желілерді қолдану механизмі "Temporal Convolutional Networks for Action Segmentation and Detection" мақаласында егжей-тегжейлі сипатталған (Colin Iea, 2016). Негізгі идея-жіңішке конволюциялық қабаттар (dilation) негізінде кодтаушы блоктан (Encoder) және шифрды шешуші блоктан (Decoder) тұратын архитектура құрылды, оның негізінде бейне ағынын сегментациялау тапсырмасы орындалады (1-сурет). Әр түрлі жұқаруы бар блоктардың шығуын қорытындылау ResNet-ке ұқсас градиенттердің ыдырау мәселесін шешеді.

Бір өлшемді конволюциялық қабатта біз кіріс деректерінде конволюция операциясын орындау үшін K ұзындығының конволюциялық ядросын қолданамыз, нәтижесінде белгілі бір позициядағы объектілер картасы пайда болады. X реттілік кірістері үшін Y объектілерінің Шығыс картасының i -ші позициясы үшін есептеу формуласы келесідей:

$$Y[i] = \sigma(\sum_j(X[i + j] * W[j]) + b) \tag{1}$$

мұндағы $Y [i]$ i – қадамдағы модельдің болжамын көрсететін шығыс тізбегінің i -ші элементін білдіреді; $X[i + j]$ – кіріс тізбегінің $(i + j)$ -ші элементін білдіреді, мұндағы j -і-ге қатысты орын ауыстыру; $W [j]$ – модель салмағының параметрлерін білдіреді; b – шығыс мәліметтерінің ауытқуларын ендіруде пайдаланатын, модельдің ауытқу параметрі [7, 9].



1-сурет. Encoder-Decoder Temporal Convolutional желісінің архитектурасы
 Ескерту – (Colin lea, 2016) алынды

Уақытша конволюциялық желілер (TCN) ауаның ластануын талдау және болжау үшін таңдалды, өйткені олардың ұзақ уақытқа тәуелділікті жұқару арқылы тиімді өңдеу қабілеті (dilation), сондай-ақ қайталанатын желілерде кездесетін градиенттердің әлсіреу мәселесін шешеді.

1-кесте. Уақытша конволюциялық желілер (TCN) мен қайталанатын нейрондық желілерді (RNN, LSTM) критерийлер бойынша салыстыру

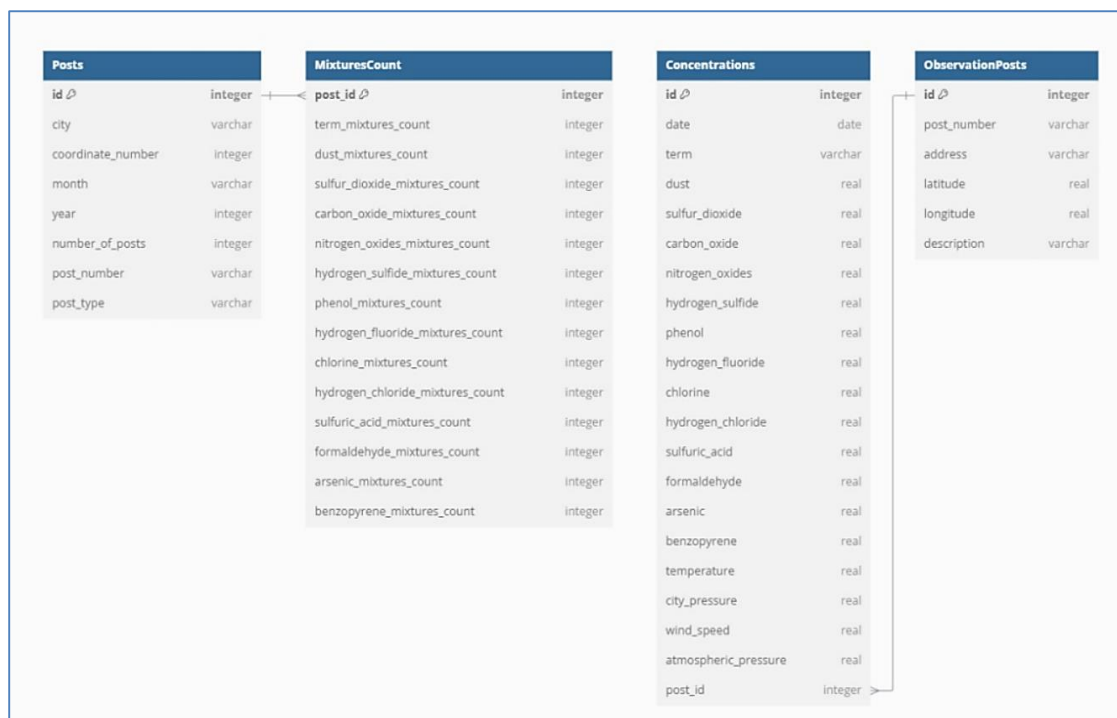
| Критерий | Уақытша конволюциялық желілер (TCN) | Қайталанатын нейрондық желілер (RNN, LSTM) |
|----------------------------------|---|---|
| Ұзақ уақытқа тәуелділікті өңдеу | Жұқару арқылы тиімді (dilation) | Өте ұзақ тізбектерде қиындықтар туындауы мүмкін |
| Градиенттердің әлсіреуі мәселесі | Желі архитектурасының арқасында шешілді | Әсіресе классикалық RNN-де бар |
| Өнімділік және жылдамдық | Параллелдеу арқасында жылдам | Дәйекті өңдеуге байланысты баяу |

Ескерту – автормен құрастырылған

TCN есептеулерді параллельдеуге мүмкіндік береді, бұл оларды RNN және LSTM-мен салыстырғанда тезірек және тиімдірек етеді. Сонымен қатар, TCN деректерді болжауды да, сегменттеуді де қолдай отырып, уақыт серияларын өңдеуде икемділікті қамтамасыз етеді және оларды болжау жүйелеріне біріктіруді жеңілдететін қарапайым архитектураға ие (Wei, Xiaoyan & Xu, Ying., 2023, Szymon H., Mariusz F., Rafał J., 2022, Yves R., Rasa Z., 2018, Adven M., 2019, Sateesh N Hosamane, 2023).

Атмосфералық ауаны ластаушы заттар туралы деректер «Казгидромет» ресми деректерінен алынды, бұл Өскемен қаласының әртүрлі 7 пост бойынша атмосфералық ауа мониторингінің күнделікті деректері. Деректер жиынтығы жол бойынша 2018 жылдан 2022 жылға дейінгі күнді және бағандарында PM 2.5 бөлшектері, PM 10 бөлшектері, SO₂, CO, NO₂, O₃, H₂S негізгі ауа ластауыштарын (Stephanie Lima Jorge Galvão, et al., 2022, Xi Gong, et al., 2022, Abirami S., Chitra P., 2022, Khawaja Hassan Waseem et al., 2022, Yinnan Xie, Mengxiang Chen, 2022, Sankar Ganesh, et al., 2022) және метеорологиялық мәліметтерді қамтиды.

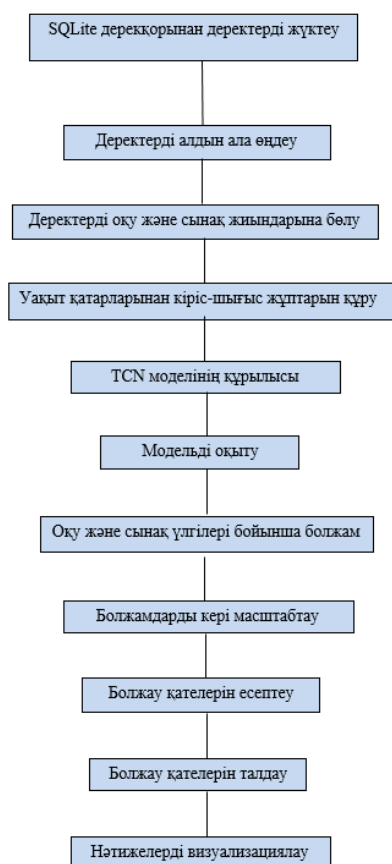
Мәліметтер қорын құру үшін SQLite таңдалды, себебі бұл серверді орнатуды қажет етпейтін, қарапайым шешім. Бұл жергілікті қосымшаларға, мобильді құрылғыларға және шағын жобаларға ыңғайлы. SQLite кросс-платформа болып табылады, аз ресурстарды пайдаланады және стандартты SQL қолдайды. SQLite-та құрылған мәліметтер қорының құрылымы (2-сурет).



2-сурет. Мәліметтер қоры құрылымы

Ескерту – автормен құрастырылған

Нәтижелері және оларды талқылау. Қарастырылып отырған зерттеу жұмысында атмосфералық ауаның ластануын болжау алгоритмін әзірлеу сұрағы қойылып, оның алгоритмі уақытша конволюциялық желілер (TCN) моделі негізінде ұсынылып отыр. Болжау моделін іске асыру кезеңдері сызба түрінде көрсетілген (3-сурет).



3-сурет. Болжау моделін іске асыру кезеңдері

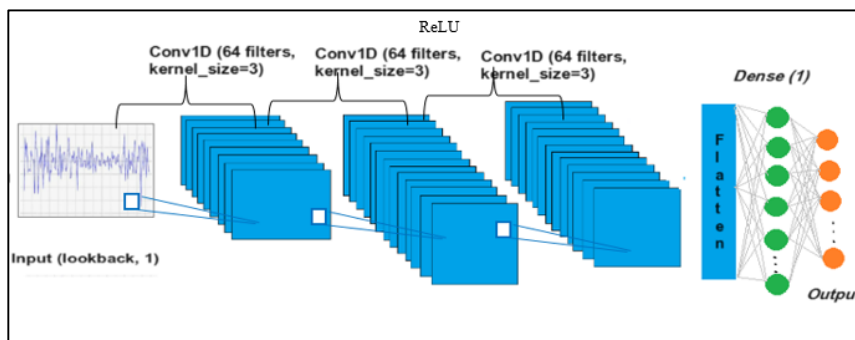
Ескерту – автормен құрастырылған

Деректерді талдаудың алғашқы қадамы SQLite дерекқорына қосылу болды. SQL сұрауларының көмегімен бақылау бекеттері, ластаушы заттардың концентрациясы, сондай-ақ ауадағы қоспалардың құрамы туралы ақпаратты қамтитын бірнеше кестеден деректер алынды. Бұл деректер data frame data-ға жүктелді, онда бастапқы өңдеу жүргізілді: уақыт белгілерін түрлендіру және деректердің тұтастығын қамтамасыз ету үшін өткізіп алған мәндерді толтыру. Бұл тәсіл барлық қол жетімді уақыт қатарларын ескеруге мүмкіндік береді.

Модельдеу үшін деректерді дайындау. Модельді құрудың мақсаты ретінде күкірт диоксидінің (SO_2) концентрациясы таңдалды, өйткені ол ауаны ластайтын негізгі заттардың бірі болып табылады. Деректерді қалыпқа келтіру үшін `MinMaxScaler` қолданылды, ол барлық көрсеткіштердің мәндерін бір диапазонға жеткізді, бұл модельдің тұрақты жұмыс істеуі үшін қажет. `Create_dataset()` функциясының көмегімен оқыту және тестілеу үшін мәліметтер жиынтығы құрылды.

Модель уақытша конволюциялық желі архитектурасы (TCN) негізінде Keras кітапханасының көмегімен жасалған. Ол ReLU белсендіру функциясы бар үш конволюциялық қабаттан және нәтижелерді тегістеу үшін Flatten соңғы қабатынан тұрады (4-сурет).

Модель Adam оңтайландырғышын және (MSE) орташа квадраттық қате жоғалту функциясын қолдана отырып құрастырылды. Модельді оқыту 50 дәуір бойы жаттығу деректерінде жүргізілді, деректер пакетінің өлшемі 16 болды, бұл модельді деректерге бейімдеу үшін жеткілікті итерациялар санын қамтамасыз етті.



4-сурет. TCN моделінің архитектурасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Модельді бағалау және қателерді талдау. Оқытудан кейін модель жаттығу және сынақ деректер жиынтығында сыналды. Болжамдар MINMAXSCALER көмегімен SO₂ концентрациясының нақты мәндерін алу үшін кері түрлендірілді. Модельдің сапасын бағалау үшін екі деректер жиынтығы үшін де MSE – орташа квадраттық қате есептелді.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \tag{2}$$

мұндағы ε_x – орташа квадраттық қате (MSE); Σ – «қосындыны» білдіреді; n – іріктеу өлшемі; Y_i – деректердің нақты мәні; \hat{Y}_i – деректердің болжамды мәні.

MSE мәні неғұрлым төмен болса, модель мәндерді дәл болжай алады дегенді білдіреді. Есептелген MSE мәндері:

$$\varepsilon_{\text{Training}} = 0,0046,$$

$$\varepsilon_{\text{Tasting}} = 0,0056.$$

Жаттығу жиынтығы үшін орташа квадраттық қате (MSE) 0.0046, ал сынақ үшін 0.0056 болды, бұл модельдің жоғары дәлдігін көрсетеді. MSE мәні неғұрлым төмен болса, модель соншалықты мәндерді жақсы болжай алды дегенді білдіреді.

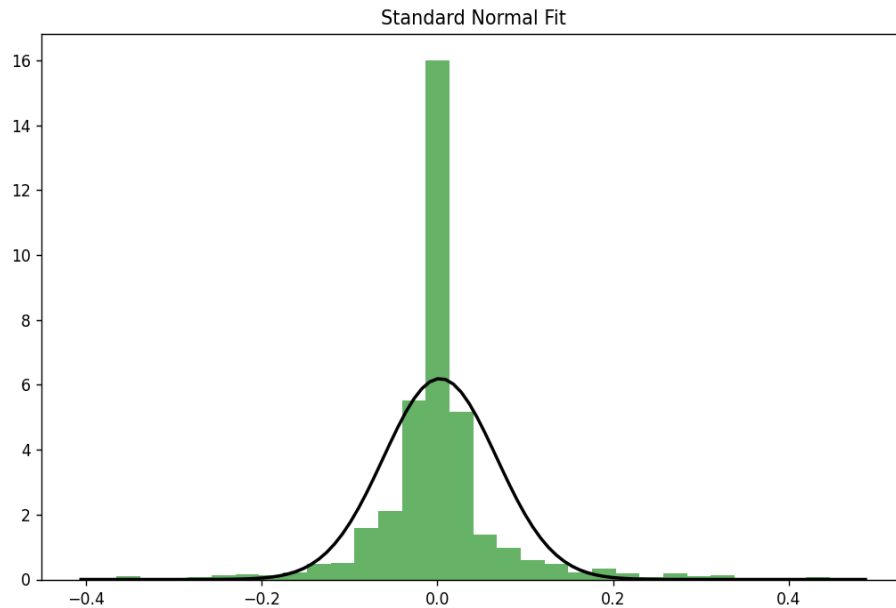
Екі деректер жиынтығы үшін де болжау қателіктерінің гистограммалары тұрғызылып, бейнеленді (5-сурет). Бұл гистограмма қателердің таралуын нақты талдауға мүмкіндік береді.



5-сурет. Оқыту және сынақ деректер жинағы бойынша болжау қателерінің гистограммасы

Ескерту – автормен құрастырылған

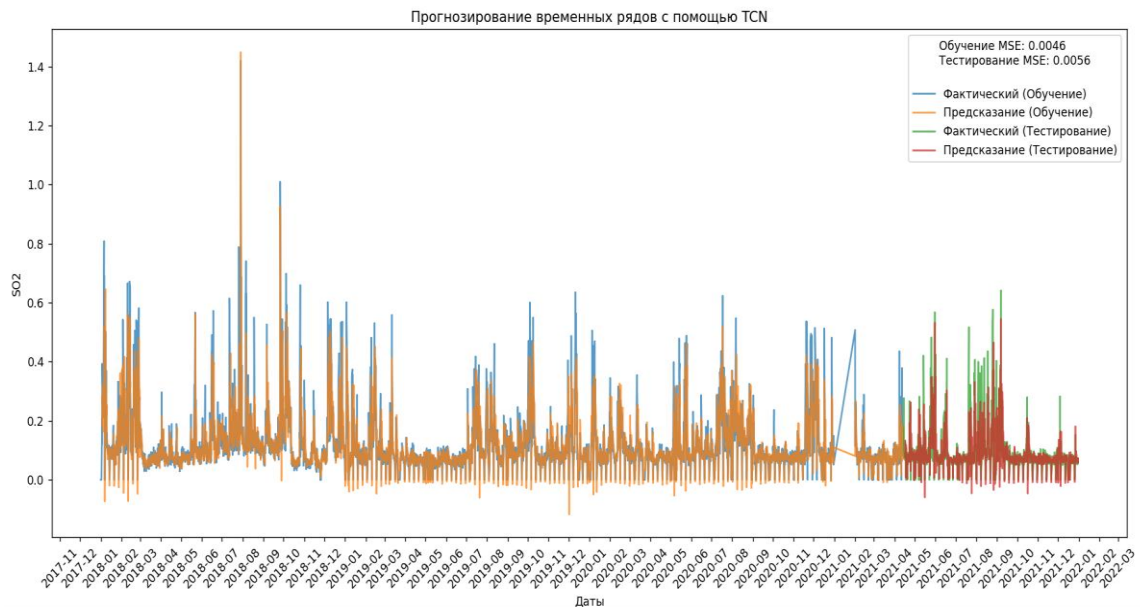
Аномалияларды анықтау үшін қателіктердің стандартты ауытқуы қолданылды және графиктерде қателіктерден бас тартуды көрсететін нүктелер бөлінді (6-сурет).



6-сурет. Аномальды нүктелерді анықтау графигі

Ескерту – автормен құрастырылған

Нәтижелерді көрнекі түрде көрсету үшін SO_2 концентрациясының нақты және болжамды мәндерін, көрсететін графиктер салынды. Графикте сондай-ақ есептелген MSE – орташа квадраттық қателіктердің мәні көрсетілген (7-сурет).



7-сурет. Temporal Convolutional networks моделі арқылы күкірт оксидінің таралуын болжау
Ескерту – автормен құрастырылған

Жаттығу деректерінде жоғары болжау дәлдігін көрсетті және үлкен болжау қателіктері бар бірнеше қалыптан тыс нүктелерді анықтады, бұл штаттан тыс оқиғаларды немесе ауадағы ластаушы заттарды көрсетеді. TCN моделі әртүрлі уақыт аралықтарында деректерді талдауға мүмкіндік беретін архитектурасының арқасында, уақыт қатарларындағы ұзақ мерзімді тәуелділіктерді тиімді есепке алу қабілетін көрсетті (7-сурет).

Қорытынды. Уақытша конволюциялық желілерге (TCN) негізделген модель күкірт диоксиді (SO_2) сияқты ауадағы ластаушы заттардың концентрациясын болжаудың жоғары дәлдігін көрсетті. Ол уақытша тәуелділіктерді тиімді қарастырады және ауа сапасын басқару саласында неғұрлым негізделген шешімдер қабылдауға көмектесу арқылы экологиялық көрсеткіштерді болжау үшін пайдалануға болады. TCN архитектурасы үлкен өлшемді уақыт қатарларымен жұмыс істеуге және деректердегі ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді, бұл оны экологияда болжаудың қуатты құралы етеді.

Уақытша конволюциялық желілер (TCN) мен қайталанатын нейрондық желілер (RNN, LSTM) моделдеріне салыстыру жасалды. Тиімді модель ретінде TCN таңдалынды, таңдалған болжау моделі негізінде атмосфералық ауаның ластануын болжау алгоритмі әзірленіп, Өскемен қаласының 2018-2022 жылғы деректер мысалында нәтижелер алынды.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Abirami S., Chitra P. "Probabilistic air quality forecasting using deep learning spatial-temporal neural network" 22 September 2022 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10707-022-00479-w>
- Adven M. "Machine learning algorithms in air quality modeling" September 2019 DOI: 10.22034/gjesm.2019.04.0
- Colin Lea, Michael D. Flynn, Rene Vidal, Austin Reiter, Gregory D. Hager Temporal Convolutional Networks for Action Segmentation and Detection [Online]. – Nov 16, 2016. – Aug 18, 2021. – <https://arxiv.org/abs/1611.05267>.
- Dusebekova K.S., Kozhamzharova D.K., Rakhmetulayeva S.B., Umarov F.A., Aitimov M. Zh. Development of an information-analytical system for the analysis and monitoring of climatic and ecological changes in the environment The 11th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT) April 6-9, 2020, Warsaw, Poland, 578–583
- Khawaja Hassan Waseem, Hammad Mushtaq, Fazeel Abid, Adnan M. Abu-Mahfouz, Asadullah Shaikh, Mehmet Turan, Jawad Rasheed "Forecasting of Air Quality Using an Optimized Recurrent Neural Network": 18 October 2022 Network. Processes 2022, 10, 2117. <https://doi.org/10.3390/pr10102117>
- Labusov M.V. "Nejronnye seti dolgoj kratkosrochnoj pamjati i ih ispol'zovanie dlja modelirovanija finansovyh vremennyh rjadov" Innovacii i investicii, no. 3, 2020, pp. 167-171.
- Oliveri Conti, G., Heibati, B., Kloog, I. et al. A review of AirQ Models and their applications for forecasting the air pollution health outcomes. Environ Sci Pollut Res 24, 6426–6445 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8180-1>
- Sateesh N Hosamane "Prediction of PM10 pollution using principal component regression and hybrid artificial neural network model" May 2023, 44(5): 1256-1263
- Sankar Ganesh, S., Arulmozhivarman, Pachaiyappan and Tatavarti, Rao. "Forecasting Air Quality Index Using an Ensemble of Artificial Neural Networks and Regression Models" Journal of Intelligent Systems, vol. 28, no. 5, 2019, pp. 893-903. <https://doi.org/10.1515/jisys-2017-0277>
- Sokhi, R. S., Moussiopoulos, N., Baklanov, A., Bartzis, J., Coll, I., Finardi, S., Friedrich, R., Geels, C., Grönholm, T., Halenka, T., Ketzler, M., Maragkidou, A., Matthias, V., Moldanova, J., Ntziachristos, L., Schäfer, K., Suppan, P., Tsegas, G., Carmichael, G., Franco, V., Hanna, S., Jalkanen, J.-P., Velders,

- G. J. M., and Kukkonen, J.: Advances in air quality research – current and emerging challenges, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 4615–4703, <https://doi.org/10.5194/acp-22-4615-2022>, 2022.
- Stephanie Lima Jorge Galvão, Júnia Cristina Ortiz Matos, Yasmin Kaore Lago Kitagawa, Flávio Santos Conterato, Davidson Martins Moreira, Prashant Kumar, Erick Giovani Sperandio Nascimento “Particulate Matter Forecasting Using Different Deep Neural Network Topologies and Wavelets for Feature Augmentation” 29 July 2022 / Revised: 23 August 2022 / Accepted: 1 September 2022 / Published: 8 September 2022 <https://doi.org/10.3390/atmos13091451>
- Surakhi O., Serhan S., Salah I. On the ensemble of recurrent neural network for air pollution forecasting: Issues and challenges // *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J.* – 2020. – T. 5. – C. 512-526 // <https://doi.org/10.25046/aj050265>
- Szymon H., Mariusz F., Rafał J. Air Quality Modeling with the Use of Regression Neural Networks *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19(24), <https://doi.org/10.3390/ijerph192416494>
- Wei, Xiaoyan & Xu, Ying. Research on carbon emission prediction and economic policy based on TCN-LSTM combined with attention mechanism. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1270248>
- Xi Gong, Lin Liu, Yanhong Huang, Bin Zou, Yeran Sun, Li Luo, Yan Lin “A pruned feed forward neural network (pruned-FNN) approach to measure air pollution exposure” December 5th, 2022 DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2322627/v1>
- Yannan Xie, Mengxiang Chen “Secondary Modeling of Air Quality Based on LSTM Cycle Neural Network” *Guangdong Polytechnic of Environmental Protection Engineering* 2022 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2400/1/012045>
- Yue-Shan Chang, Hsin-Ta Chiao, Satheesh Abimannan, Yo-Ping Huang, Yi-Ting Tsai, Kuan-Ming Lin, An LSTM-based aggregated model for air pollution forecasting, *Atmospheric Pollution Research*, Volume 11, Issue 8, 2020, Pages 1451-1463.
- Yves R., Rasa Z. “Machine Learning Approaches for Outdoor Air Quality Modelling: A Systematic Review” Received: 15 November 2018; Accepted: 8 December 2018; Published: 11 December 2018 <http://dx.doi.org/10.3390/app8122570>
- Пененко А.В., Рахметуллина С.Ж., Алгоритмы локализации источников загрязнения атмосферного воздуха на основе данных автоматизированной системы экологического мониторинга, *Сиб. электрон. матем. изв.*, 2013, том 10, 35– 54 // Penenko A.V., Rahmetullina S.Zh., Algoritmy lokalizacii istochnikov zagrjaznenija atmosfernogo vozduha na osnove dannyh avtomatizirovannoj sistemy jekologicheskogo monitoringa, *Sib. jelektron. matem. izv.*, 2013, tom 10, 35-54.

Information about authors

Tukushova Arailym – master of computer sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: araylym.tukushova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9959-6021, +7 777 579 84 00

Rakhmetullina Saule – PhD in Technical sciences, associate professor, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: SRakhmetullina@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0002-3142-0249, +7 77051861368

Penenko Aleksey – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, E-mail: a.penenko@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2580-6580, +7 913 742 49 55

КИБЕРНЕТИКА
КИБЕРНЕТИКА
CYBERNETICS

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_217
MPHTI 28.23.01

З.Т. Хасенова¹, М.А. Рақышева¹, Н.С. Глазырина², А.Н. Исайнова², А.Т. Мукатов²

¹НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева»,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: zkhasenova@edu.ektu.kz*

E-mail: mrakysheva@edu.ektu.kz

²НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»,

г. Астана, Республика Казахстан

E-mail: glazyrina_ns_1@enu.kz

E-mail: issainova_an@enu.kz

E-mail: abzal_mukatov@mail.ru

**СЕНСОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ:
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

**СЕНСОРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ:
ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЖАҢА МҮМКІНДІКТЕРІ**

**SENSOR TECHNOLOGIES AND MACHINE LEARNING:
NEW OPPORTUNITIES FOR ENVIRONMENTAL MONITORING**

Аннотация. В данной работе исследуется применение методов статистического машинного обучения для калибровки и анализа данных, полученных от системы искусственного обоняния при экспериментальных исследованиях со стандартными газовыми смесями, включающими ключевые загрязнители атмосферного воздуха (диоксид углерода, оксид углерода, диоксид азота, аммиак и сероводород) в диапазоне концентраций от 5 до 50 ppm. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки точных и надежных методов мониторинга качества воздуха в условиях низких концентраций загрязняющих веществ. В качестве методов машинного обучения были выбраны многомерная линейная регрессия и кластеризация на основе метода ближайших соседей. Полученные модели продемонстрировали высокую степень адекватности экспериментальным данным, о чем свидетельствуют значения коэффициента детерминации R^2 , близкие к единице. С использованием алгоритма k -means была успешно проведена кластеризация многомерных откликов сенсоров, позволившая выявить четкую зависимость между характеристиками сенсорных сигналов, видом газа и его концентрации в смеси. Результаты исследования могут быть использованы для создания автономных систем мониторинга качества воздуха, способных оперативно выявлять превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ.

Ключевые слова: система искусственного обоняния, газовый сенсор, электронный нос, машинное обучение, статистическое машинное обучение, многомерная линейная регрессия, алгоритм k -means.

Аңдатпа. Бұл жұмыста стандартты газ қоспаларымен жүргізілген эксперименттік зерттеулерде атмосфералық ауаның негізгі ластаушылары (көмірқышқыл газы, көміртек оксиді, азот диоксиді, аммиак және күкіртсутек) концентрациясы 5-тен 50 ppm-ге дейін болатын жасанды иіс сезу жүйесінен алынған деректерді калибрлеу және талдау үшін статистикалық машиналық оқыту әдістерін қолдану зерттеледі. Зерттеудің өзектілігі – ластаушы заттардың төмен концентрациясы жағдайында ауа сапасын бақылаудың дәл және сенімді әдістерін әзірлеу қажеттілігімен байланысты. Машиналық оқыту әдістері ретінде көпөлшемді сызықтық регрессия және ең жақын көршілер әдісі негізіндегі кластерлеу таңдалды. Алынған модельдер тәжірибелік деректерге жоғары сәйкестік көрсетті, бұл R^2

детерминация коэффициентінің мәндерімен дәлелденеді, олар бірлікке жақын. *k-means* алгоритмін пайдалана отырып, сенсорлардың көпөлшемді жауаптарын сәтті кластерлеу жүргізіліп, сенсорлық сигналдардың сипаттамалары, газ түрі және оның қоспадағы концентрациясы арасындағы айқын тәуелділік анықталды. Зерттеу нәтижелері ауа сапасын бақылаудың автономды жүйелерін құру үшін пайдаланылуы мүмкін, олар зиянды заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясынан асып кетуді жедел анықтай алады.

Түйін сөздер: жасанды иіс сезу жүйесі, газ сенсоры, электронды мұрын, машиналық оқыту, статистикалық машиналық оқыту, көпөлшемді сызықтық регрессия, *k-means* алгоритмі.

Abstract. This paper investigates the application of statistical machine learning methods for the calibration and analysis of data obtained from an artificial olfaction system during experimental studies with standard gas mixtures, which include key air pollutants (carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen dioxide, ammonia, and hydrogen sulfide) in concentrations ranging from 5 to 50 ppm. The relevance of the research is due to the need for accurate and reliable methods for monitoring air quality in conditions of low pollutant concentrations. Multivariate linear regression and clustering based on the nearest neighbors method were chosen as the machine learning methods. The resulting models demonstrated a high degree of agreement with the experimental data, as evidenced by the R^2 coefficient values, which were close to one. Using the *k-means* algorithm, successful clustering of the multivariate sensor responses was carried out, revealing a clear relationship between sensor signal characteristics, gas type, and its concentration in the mixture. The research results can be used to create autonomous air quality monitoring systems capable of promptly detecting exceedances of the maximum allowable concentrations of harmful substances.

Keywords: artificial olfaction system, gas sensor, electronic nose, machine learning, statistical machine learning, multivariate linear regression, *k-means* algorithm

Введение. Загрязнение воздуха – одна из наиболее острых экологических проблем современности, особенно в крупных городах и промышленных регионах. Выбросы вредных веществ в атмосферу от промышленных предприятий, транспорта, энергетики и других источников приводят к серьезным последствиям для окружающей среды и здоровья человека: к повышенным рискам развития у населения сердечно-сосудистых заболеваний, рака, хронических обструктивных заболеваний легких и других заболеваний. Кроме того, ухудшение качества воздуха вызывает значительные экономические потери из-за снижения производительности труда, увеличения расходов на здравоохранение, ухудшения качества жизни и миграции населения.

Промышленные города и регионы особенно подвержены проблемам загрязнения воздуха из-за высокой концентрации производственных предприятий. Из-за выбросов от металлургических, химических, энергетических и других предприятий наблюдается повышенный уровень загрязнения воздуха различными вредными веществами. Загрязнение воздуха в промышленных регионах часто носит комплексный характер, что затрудняет оценку его воздействия на здоровье населения.

Таким образом, загрязнение воздуха является серьезной проблемой, требующей комплексного решения. Разработка и внедрение эффективных систем мониторинга качества воздуха является важным шагом в решении этой проблемы.

Традиционные методы анализа качества воздуха (газовая и жидкостная хроматография, масс-спектрометрия, ядерный магнитный резонанс и спектрофотометрия), основанные на физико-химических принципах, хотя и обеспечивают высокую точность, характеризуются высокой стоимостью и сложностью обслуживания (Borowik et al., 2020).

В качестве перспективной альтернативы предлагается использовать системы искусственного обоняния (для их описания также используется термин «электронный нос»), основанные на использовании матрицы газовых сенсоров и системы распознавания образов (Hurot et al., 2020). «Электронные носы» обладают рядом преимуществ: они компактны, энергоэффективны и могут быть легко интегрированы в различные системы

мониторинга. Благодаря способности имитировать человеческое обоняние, «электронные носы» позволяют быстро и точно определять наличие различных летучих органических соединений и других загрязняющих веществ в воздухе (Yan et al., 2015). Их применение охватывает широкий спектр областей от пищевой промышленности (Konduru et al., 2015; Wojnowski et al., 2017; Maimunah Mohd et al., 2020) и медицины (Adiguzel, Kulah, 2015; Sujono, Amin, 2018; Wilson, 2018) до экологического мониторинга (Harrou et al., 2018; Baby, Cabezas & Walsöe de Reca, 2000) и безопасности (Norman et al., 2003; Kanakam, Hussain & Chakravarthy, 2015).

Ранее нами были представлены результаты исследований по созданию мобильного мультисенсорного газоанализатора с функцией беспроводной передачи сенсорных данных (Сатыбалдина, et al., 2023), разработаны программные средства для сбора автоматического выделения признаков, разметки, датасетов и обучения нейросетевого классификатора газов и запахов на языке Python (Мукатов et al, 2024; Сатыбалдина, Сыдыков & Исайнова, 2023), получены оценки точности распознавания исследуемых образцов при варьировании исследуемых газов, паров спиртов, летучих органических соединений (Alseitov et al., 2023; Satybaldina et al, 2023; Сатыбалдина et al., 2024).

В настоящей работе представлены результаты исследований по разработке методов калибровки сенсоров и анализа сенсорных данных, полученных от систем искусственного обоняния, для решения задач мониторинга качества воздуха. Применение методов статистического машинного обучения, таких как линейная регрессия и кластеризация, позволяет создавать точные и надежные модели калибровки сенсоров, что повышает точность определения концентраций различных газов и способствует решению проблемы загрязнения окружающей среды.

Материалы и методы исследования. В табл. 1 представлены данные по образцам газов, использованных в экспериментах. Выбор данных газов обусловлен тем, что именно уровень их содержания в воздухе контролируется на станциях мониторинга качества воздуха в связи с их вредным воздействием на здоровье людей. Стандартные смеси синтетического/сжатого воздуха и целевых газов в известных соотношениях (концентрациях исследуемых газов в ppm) для калибровки датчиков «электронного носа» были предоставлены компанией ООО «Линде Газ Рус», Россия.

Таблица 1. Концентрации целевого газа в смеси с синтетическим воздухом

| № | Целевой газ | Концентрации целевого газа в смеси с синтетическим воздухом, ppm |
|---|---|--|
| 1 | Оксид азота NO ₂ | 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm |
| 2 | Аммиак NH ₃ | 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm |
| 3 | Сероводород H ₂ S | 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm |
| 4 | Монооксид углерода (угарный газ) CO | 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm |
| 5 | Диоксид углерода (углекислый газ) CO ₂ | 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm |

Примечание – составлено авторами

Экспериментальные измерения проведены на экспериментальной установке (рис. 1) в Лаборатории наноматериалов Сколковского института науки и технологий, Сколково, Россия. Использован «электронный нос» собственной разработки, на которую получен патент РК на полезную модель (Патент РК №9539, 2024).

В табл. 2 представлены характеристики и обозначения использованных металлооксидных газовых сенсоров.

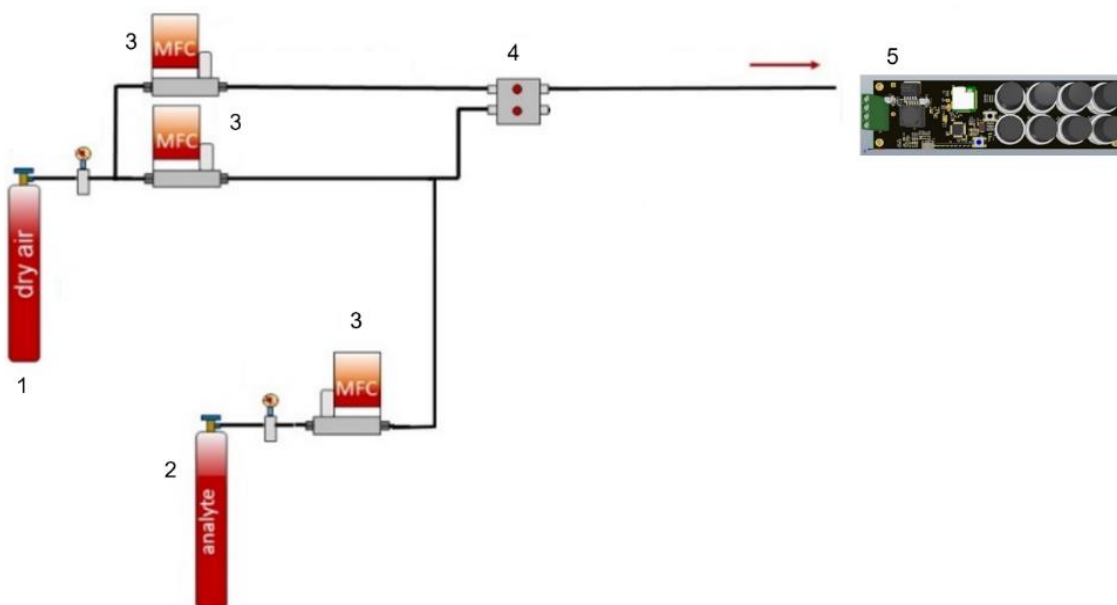


Рисунок 1. Экспериментальная установка с регулируемой подачей газов, объединенная с прибором типа «электронный нос»

Примечание – составлено авторами

Таблица 2. Обозначение сенсоров

| Наименование марки сенсора | Перечень газов, к которым сенсор числителен | Обозначение сенсора |
|----------------------------|---|---------------------|
| MQ-7 | CO | R1 |
| MQ-3 | Alcohol | R2 |
| MQ-5 | LPG | R3 |
| MQ-2 | Smoke | R4 |
| MQ-9 | CO, CH ₄ , LPG | R5 |
| MQ-8 | H ₂ | R6 |
| MQ-135 | NH ₃ , CO ₂ , NO ₂ | R7 |
| MQ-4 | CH ₄ | R8 |

Примечание – составлено авторами

Результаты и их обсуждение. Основная цель работы состоит в том, чтобы обеспечить точное калибрование сенсоров «электронного носа» для измерения концентраций целевых газов. Для этого предлагается подход, при котором калибровочные кривые сенсоров строятся на основе метода наименьших квадратов при анализе поверочной газовой смеси в разных концентрациях. Предложенный подход позволяет улучшить точность и воспроизводимость измерений сенсоров «электронного носа», что имеет ключевое значение для применения «электронного носа» в таких областях, как мониторинг окружающей среды и промышленные процессы.

Экспериментальные данные были получены в соответствии с проведенным протоколом эксперимента, в котором поверочная газовая смесь подавалась в концентрациях 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm в течение 10 минут. Между подачей ананта на «электронный нос» подавался воздух в течение 15 минут. Эксперимент повторялся для каждого образца по два раза. На рис. 2 показаны графики напряжений всех сенсоров «электронного носа» в течение двух экспериментов.

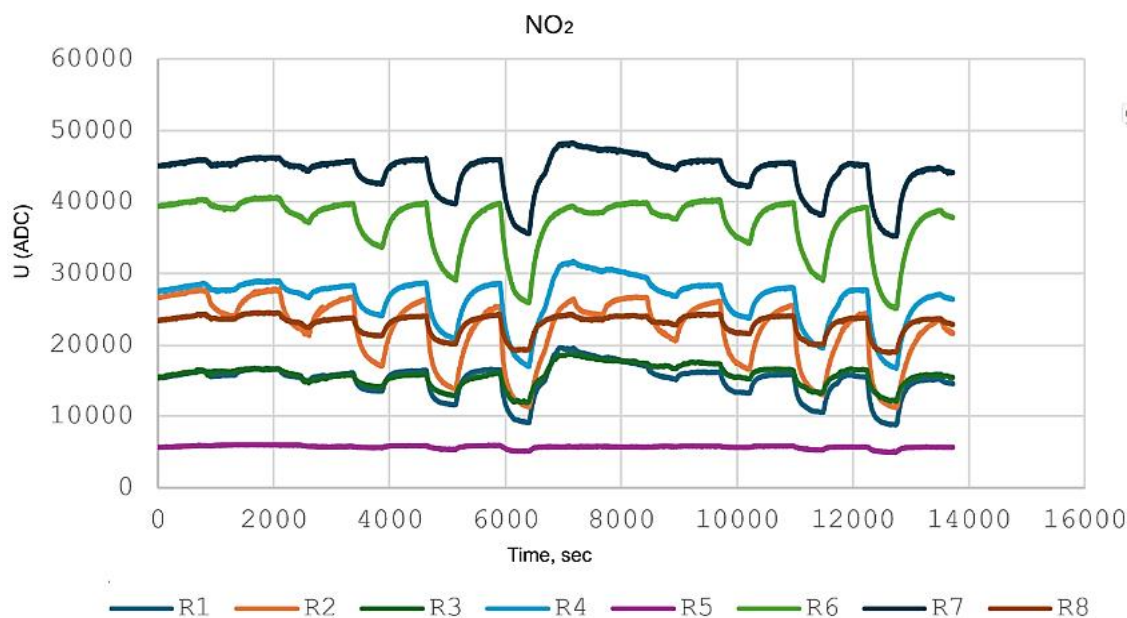


Рисунок 2. Графики временной зависимости электрических характеристик сенсоров R1-R8 «электронного носа» при подаче на него поверочной газовой смеси сухого воздуха и оксида азота (NO₂)

Примечание – составлено авторами

Металлооксидные хемистивные газовые сенсоры, используемые в «электронном носе», – это устройства, основанные на изменении электрического сопротивления тонкой пленки металлооксидного полупроводника при взаимодействии с газами. При контакте с газовой смесью молекулы газов адсорбируются на поверхности полупроводника. Тип адсорбции зависит от температуры сенсора и природы газа. Адсорбция газов приводит к изменению концентрации носителей заряда в полупроводнике, что в свою очередь вызывает изменение его электрического сопротивления. Изменение сопротивления регистрируется с помощью электродов, нанесенных на поверхность сенсора. Полученный аналоговый сигнал обрабатывается аналогово-цифровым устройством и записывается в файл в виде цифрового сигнала напряжения отдельно для каждого сенсора и далее используется для обработки и анализа.

Рассмотрим подробно алгоритм построения калибровочных кривых сенсоров на примере сенсора R2. Для построения калибровочной кривой сенсора R2 отдельно рассмотрим временную зависимость электрических характеристик R2, представленную на рис. 3.

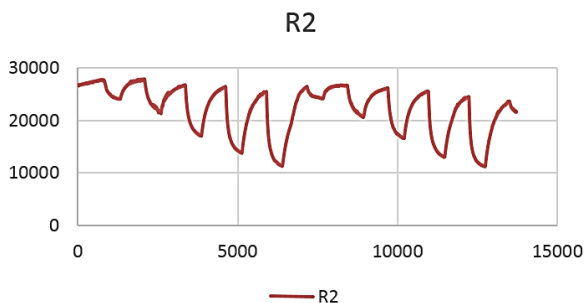


Рисунок 3. Графики временной зависимости электрических характеристик сенсоров R1-R8 «электронного носа» при подаче на него поверочной газовой смеси сухого воздуха и оксида азота (NO₂)

Примечание – составлено авторами

Рассчитаем среднее значение нулевого смещения (U_{air}) сенсора R2. Для этого на графике напряжения сенсора R2 были выбраны две точки на базовых линиях сенсора – точка 2112 со значением в этой точке 27218 в первом эксперименте и точка 8452 со значением 26116 во втором эксперименте (рис. 4).

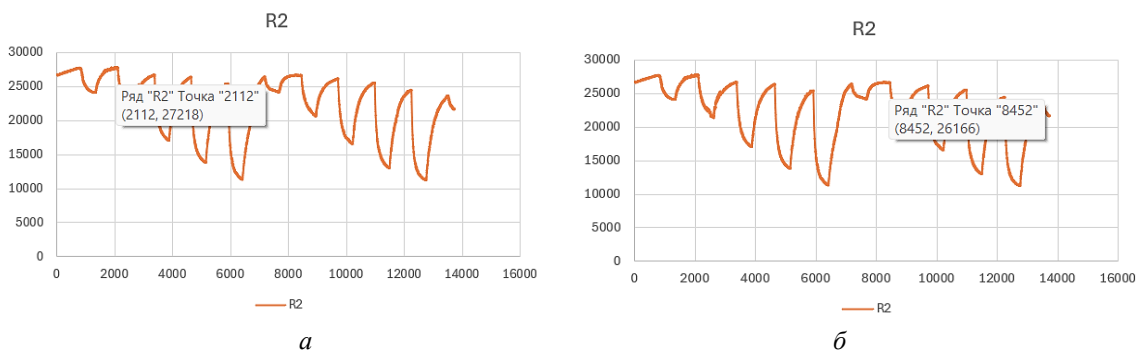


Рисунок 4. Выбранные точки на базовых линиях: а – точка на базовой линии первого эксперимента; б – точка на базовой линии второго эксперимента

Примечание – составлено авторами

В наборе полученных экспериментальных данных к выбранным точкам было добавлено по 5 точек от выбранной точки, из которых было вычислено среднее значение нулевого смещения (табл. 3).

Таблица 3. Данные для расчета U_{air}

| Time | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1 | 15452 | 26759 | 15482 | 27571 | 5733 | 39391 | 45027 | 23452 |
| 2 | 15367 | 26620 | 15405 | 27607 | 5753 | 39370 | 45031 | 23477 |
| ... | | | | | | | | |
| 2106 | 16529 | 27481 | 16514 | 28846 | 5982 | 40452 | 46129 | 24320 |
| 2107 | 16526 | 27483 | 16613 | 28860 | 6027 | 40484 | 46046 | 24368 |
| 2108 | 16524 | 27335 | 16483 | 28806 | 5902 | 40357 | 46050 | 24344 |
| 2109 | 16490 | 27359 | 16470 | 28835 | 6008 | 40405 | 46106 | 24371 |

Окончание таблицы 3

| Time | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 2110 | 16460 | 27308 | 16560 | 28730 | 6011 | 40407 | 46115 | 24339 |
| 2111 | 16467 | 27316 | 16523 | 28788 | 6004 | 40400 | 46080 | 24359 |
| 2112 | 16461 | 27218 | 16563 | 28803 | 6020 | 40313 | 46041 | 24244 |
| 2113 | 16430 | 27213 | 16501 | 28710 | 5990 | 40325 | 46082 | 24290 |
| 2114 | 16449 | 27129 | 16570 | 28708 | 6057 | 40293 | 45946 | 24304 |
| 2115 | 16448 | 27096 | 16505 | 28772 | 6033 | 40230 | 46056 | 24249 |
| 2116 | 16445 | 27033 | 16421 | 28665 | 6024 | 40246 | 46036 | 24194 |
| 2117 | 16433 | 26959 | 16563 | 28661 | 5952 | 40195 | 45936 | 24187 |
| 2118 | 16378 | 26931 | 16488 | 28599 | 5979 | 40256 | 45961 | 24174 |
| ... | | | | | | | | |
| 8446 | 16991 | 26487 | 17353 | 29244 | 5823 | 39839 | 46496 | 24052 |
| 8447 | 16957 | 26445 | 17424 | 29291 | 5743 | 39851 | 46572 | 23876 |
| 8448 | 16983 | 26414 | 17335 | 29308 | 5689 | 39856 | 46484 | 23983 |
| 8449 | 16999 | 26330 | 17461 | 29276 | 5742 | 39773 | 46540 | 23927 |
| 8450 | 16905 | 26341 | 17375 | 29292 | 5782 | 39860 | 46542 | 23914 |
| 8451 | 16919 | 26294 | 17434 | 29316 | 5793 | 39831 | 46474 | 23979 |
| 8452 | 16882 | 26166 | 17364 | 29243 | 5723 | 39681 | 46449 | 23980 |
| 8453 | 16891 | 26178 | 17327 | 29317 | 5762 | 39704 | 46410 | 23906 |
| 8454 | 16885 | 26144 | 17344 | 29231 | 5713 | 39641 | 46427 | 23865 |
| 8455 | 16935 | 26121 | 17269 | 29243 | 5801 | 39677 | 46295 | 23923 |
| 8456 | 16855 | 26089 | 17248 | 29219 | 5705 | 39713 | 46371 | 23879 |
| 8457 | 16842 | 25991 | 17330 | 29070 | 5755 | 39703 | 46365 | 23903 |
| 8458 | 16868 | 25941 | 17290 | 29173 | 5765 | 39609 | 46350 | 23854 |
| ... | | | | | | | | |

Примечание – составлено авторами

Аналогично были рассчитаны средние значения нулевых смещений для всех сенсоров «электронного носа». Средние значения U_{air} каждого сенсора приведены в табл. 4.

Таблица 4. Данные для расчета U_{air}

| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| U_{air} | 16690,27 | 26725,55 | 16940,14 | 29006,55 | 5874,364 | 40042,95 | 46246,5 | 24108,36 |

Примечание – составлено авторами

Далее были рассчитаны средние значения максимальных напряжений (U_{max}) сенсоров при подаче на «электронный нос» поверочной газовой смеси NO_2 в концентрациях 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm. Для этого были выбраны точки на графике, соответствующие максимальным значениям напряжения при различных концентрациях аналита. Выбранные точки и значения напряжения сенсора R2 в этих точках при подаче поверочной газовой смеси NO_2 в концентрации 5 ppm для каждого эксперимента показаны на рис. 5.

В наборе полученных экспериментальных данных к выбранным точкам было добавлено по 5 точек от выбранной точки, из которых было вычислено среднее значение максимального напряжения сенсора R2 (табл. 5).

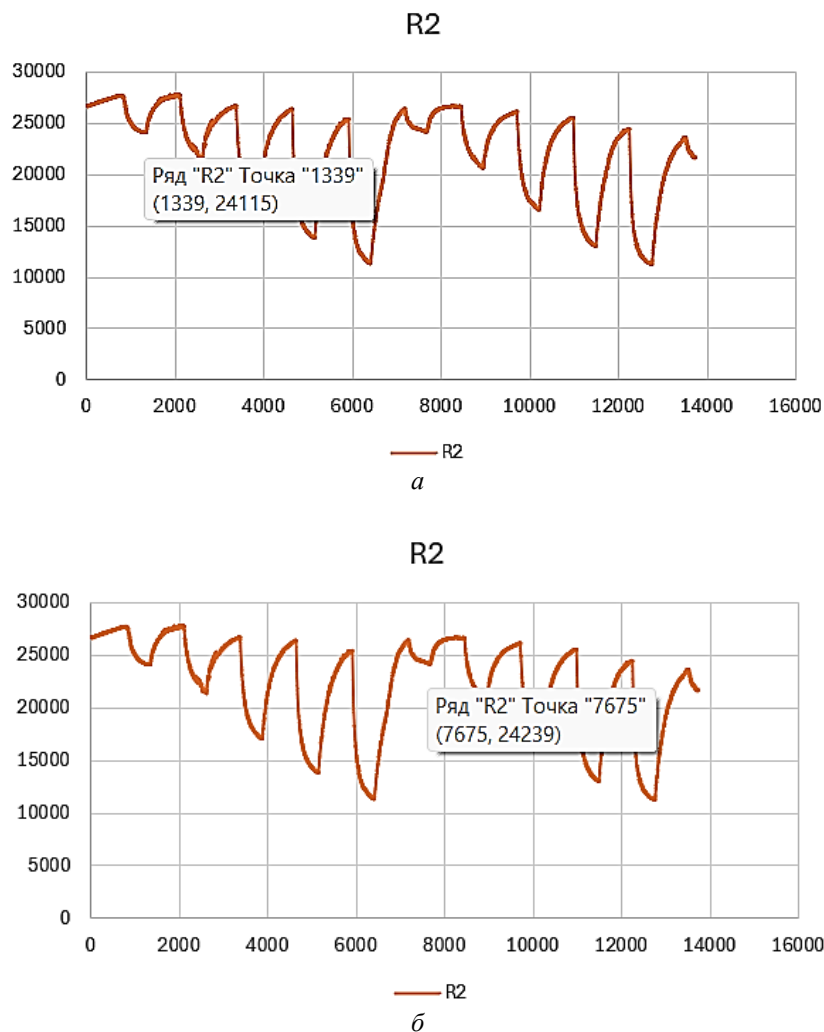


Рисунок 5. Выбранные точки и значения напряжения сенсора R2 в этих точках при концентрации 5 ppm: *a* – точка U_{max} при концентрации 5 ppm NO₂ в первом эксперименте; *b* – точка U_{max} для концентрации 5 ppm NO₂ во втором эксперименте
 Примечание – составлено авторами

Таблица 5. Данные для расчета U_{air}

| Time | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1 | 15452 | 26759 | 15482 | 27571 | 5733 | 39391 | 45027 | 23452 |
| 2 | 15367 | 26620 | 15405 | 27607 | 5753 | 39370 | 45031 | 23477 |
| ... | | | | | | | | |
| 1333 | 15871 | 24122 | 16365 | 27787 | 6003 | 39095 | 45416 | 23713 |
| 1334 | 15878 | 24149 | 16316 | 27751 | 6076 | 39106 | 45382 | 23636 |

Окончание таблицы 5

| Time | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1335 | 15904 | 24118 | 16377 | 27831 | 6004 | 39174 | 45390 | 23725 |
| 1336 | 15856 | 24113 | 16390 | 27777 | 6050 | 39109 | 45418 | 23657 |
| 1337 | 15908 | 24051 | 16384 | 27786 | 6016 | 39108 | 45464 | 23772 |
| 1338 | 15852 | 24066 | 16373 | 27802 | 6064 | 39062 | 45281 | 23722 |
| 1339 | 15784 | 24115 | 16268 | 27762 | 6015 | 39055 | 45372 | 23685 |
| 1340 | 15848 | 24094 | 16415 | 27841 | 6052 | 39178 | 45454 | 23719 |
| 1341 | 15892 | 24129 | 16327 | 27840 | 6027 | 39126 | 45559 | 23797 |
| 1342 | 15894 | 24153 | 16403 | 27761 | 5985 | 39143 | 45450 | 23746 |
| 1343 | 15906 | 24142 | 16339 | 27867 | 6031 | 39176 | 45379 | 23703 |
| 1344 | 15907 | 24109 | 16297 | 27807 | 6017 | 39150 | 45373 | 23765 |
| 1345 | 15904 | 24183 | 16393 | 27824 | 5999 | 39247 | 45430 | 23765 |
| ... | | | | | | | | |
| 7670 | 18111 | 24150 | 17949 | 30379 | 5878 | 38561 | 47308 | 23506 |
| 7671 | 18122 | 24193 | 17984 | 30357 | 5838 | 38541 | 47376 | 23587 |
| 7672 | 18127 | 24185 | 17916 | 30314 | 5791 | 38618 | 47269 | 23553 |
| 7673 | 18084 | 24207 | 17950 | 30350 | 5776 | 38675 | 47331 | 23435 |
| 7674 | 18066 | 24124 | 17960 | 30329 | 5846 | 38571 | 47337 | 23603 |
| 7675 | 18119 | 24239 | 17907 | 30355 | 5802 | 38538 | 47222 | 23575 |
| 7676 | 18113 | 24234 | 17941 | 30311 | 5817 | 38469 | 47304 | 23603 |
| 7677 | 18143 | 24208 | 17975 | 30380 | 5843 | 38541 | 47404 | 23527 |
| 7678 | 18109 | 24179 | 17920 | 30294 | 5803 | 38533 | 47272 | 23592 |
| 7679 | 18091 | 24187 | 17945 | 30354 | 5760 | 38499 | 47275 | 23612 |
| 7680 | 18152 | 24182 | 17946 | 30327 | 5836 | 38560 | 47215 | 23548 |
| ... | | | | | | | | |

Примечание – составлено авторами

Аналогично были рассчитаны средние максимальные значения напряжений (U_{max}) для всех сенсоров «электронного носа» при подаче на него поверочной газовой смеси NO_2 в концентрациях 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm. Значения U_{max} всех сенсоров «электронного носа» приведены в табл. 6.

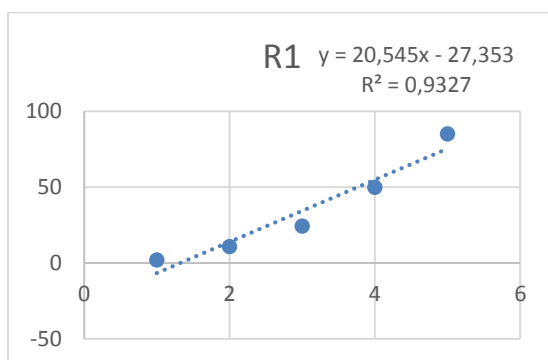
Для каждого сенсора были построены графики зависимости его отклика от концентрации поверочной газовой смеси NO_2 , представленные на рис. 5 и 6.

Для аппроксимации зависимости отклика сенсора от концентрации аналита была использована модель линейной регрессии. На каждом графике представлены уравнения прямых, аппроксимирующих экспериментальные данные, и коэффициенты детерминации (R^2), которые показывают степень соответствия аппроксимирующей модели исходным данным.

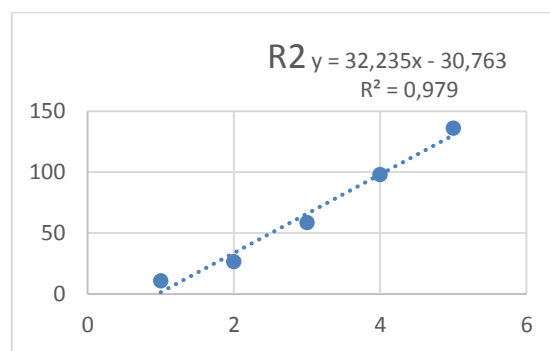
Таблица 6. Значения $U_{тах}$ для каждого сенсора

| Концентрация, ppm | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5 | 16994,52 | 24152,03 | 17149,11 | 29072,76 | 5926,068 | 38840,55 | 46355,09 | 23638,23 |
| 10 | 15077,14 | 21136,91 | 15769,68 | 26791,77 | 5815,318 | 37436,59 | 44566,77 | 22692,77 |
| 20 | 13435 | 16855,41 | 14690,23 | 23956,27 | 5669,045 | 34036,95 | 42438,32 | 21490,77 |
| 35 | 11152,27 | 13496,73 | 13178,91 | 20297,32 | 5384,727 | 29254,77 | 39067,86 | 20179,05 |
| 50 | 9019,955 | 11322,23 | 12113,14 | 16963,86 | 5088,727 | 25569,82 | 35451,64 | 19220,27 |

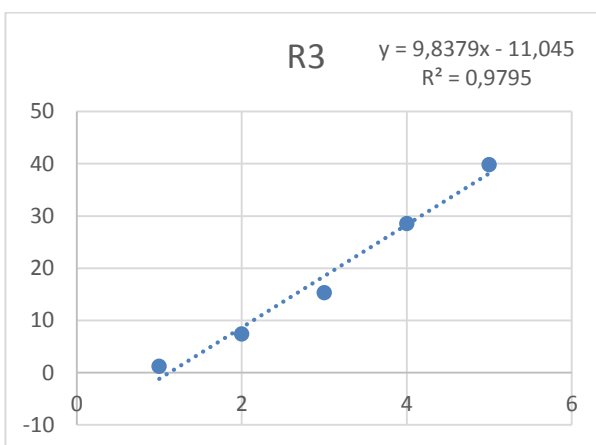
Примечание – составлено авторами



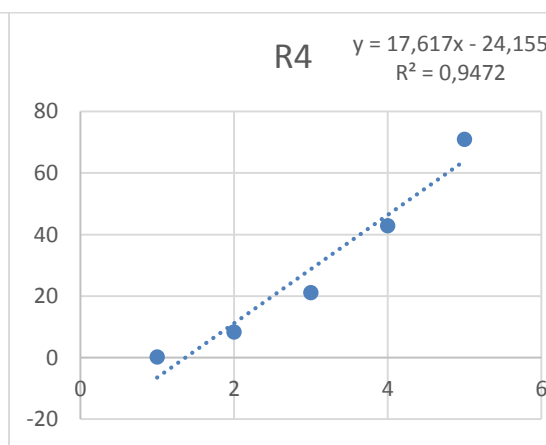
а) калибровочная кривая сенсора R1



б) калибровочная кривая сенсора R2



в) калибровочная кривая сенсора R3



г) калибровочная кривая сенсора R4

Рисунок 5. Графики зависимости откликов сенсоров (R1-R4) «электронного носа» от концентрации поверочной газовой смеси NO_2

Примечание – составлено авторами

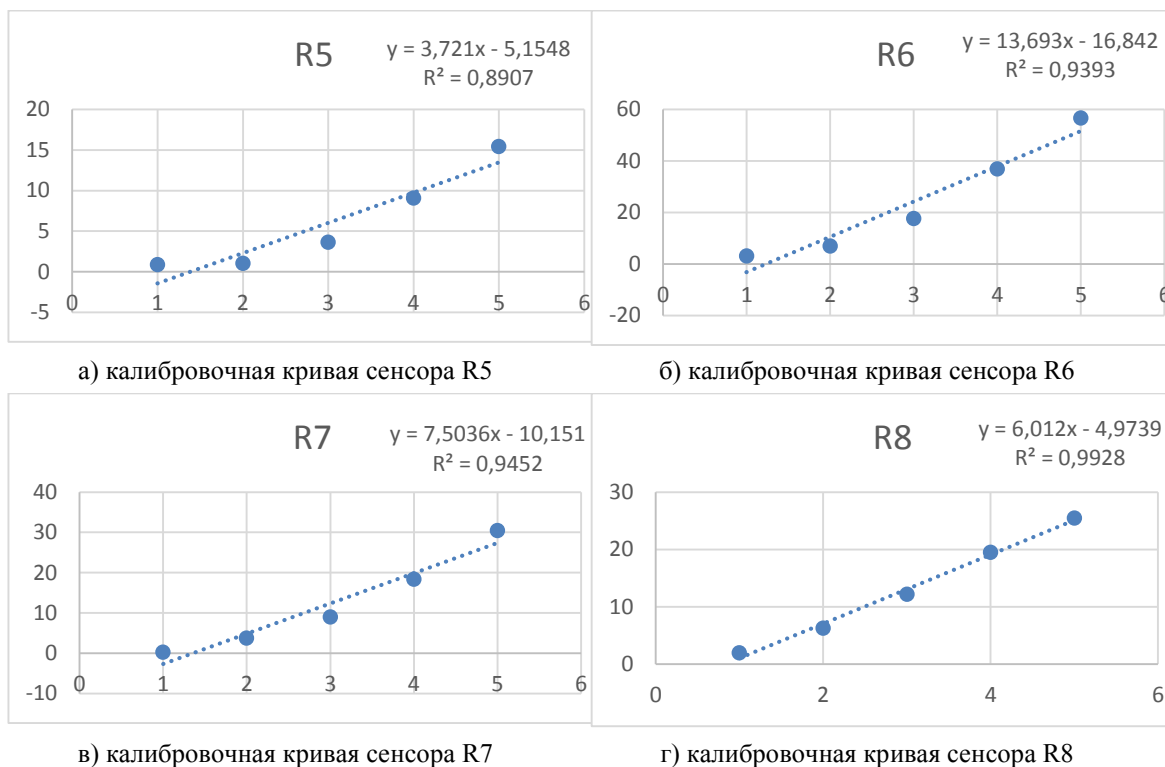


Рисунок 6. Графики зависимости откликов сенсоров (R5-R8) «электронного носа» от концентрации поверочной газовой смеси NO₂

Примечание – составлено авторами

По формуле (1) были вычислены сенсорные отклики для каждой концентрации подаваемой поверочной газовой смеси:

$$R = \left| \left(\frac{U_{air}}{U_{max}} - 1 \right) * 100 \right| \tag{1}$$

Значения сенсорных откликов приведены в табл. 7.

Таблица 7. Значения сенсорных откликов

| Концентрация, ppm | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5 | 1,790239 | 10,6555 | 1,218546 | 0,227759 | 0,872493 | 3,095757 | 0,234251 | 1,988849 |
| 10 | 10,69922 | 26,44018 | 7,422182 | 8,266615 | 1,015343 | 6,962075 | 3,769013 | 6,238069 |
| 20 | 24,22979 | 58,55768 | 15,31569 | 21,08121 | 3,621742 | 17,64553 | 8,973451 | 12,18007 |
| 35 | 49,65804 | 98,01501 | 28,53975 | 42,90827 | 9,093058 | 36,87666 | 18,37479 | 19,47227 |
| 50 | 85,03722 | 136,0449 | 39,8493 | 70,99021 | 15,43876 | 56,60242 | 30,44955 | 25,43195 |

Примечание – составлено авторами

Значения коэффициента достоверности аппроксимации R^2 могут лежать в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе значение R^2 к 1, тем точнее модель описывает имеющиеся данные. Коэффициенты R^2 для каждой корреляционной кривой сенсоров приведены в табл. 8.

Таблица 8. Коэффициенты R^2

| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| R^2 | 0,9327 | 0,979 | 0,9795 | 0,9472 | 0,8907 | 0,9393 | 0,9452 | 0,9928 |

Примечание – составлено авторами

Представленный в статье алгоритм калибровки сенсоров «электронного носа» при подаче на него поверочной газовой смеси NO_2 был также применен для калибровки сенсоров при подаче на «электронный нос» других образцов газов.

Далее мы использовали алгоритм кластеризации k-means для анализа многомерных хемирезистивных ответов сенсорной матрицы. Все статистические расчеты и алгоритмы машинного обучения были реализованы и выполнены с использованием языка программирования R. Интегрированная среда разработки RStudio (Stander, Dalla, 2017) использовалась в качестве основной платформы для разработки и выполнения кода.

Результаты анализа показали четкую тенденцию кластеризации в данных, эффективно разделяя сенсорные ответы на основе различных концентраций целевых газов и сухого воздуха. Как показано на рис. 7, алгоритм k-means разделил экспериментальный набор данных, включающий сенсорные отклики на диоксид азота и сухой воздух, на шесть отдельных кластеров, продемонстрировав свою способность к выделению паттернов (цифровых отпечатков газов), позволяющих классифицировать (различать) образцы разной концентрации, учитывая статистические закономерности в сенсорных данных.

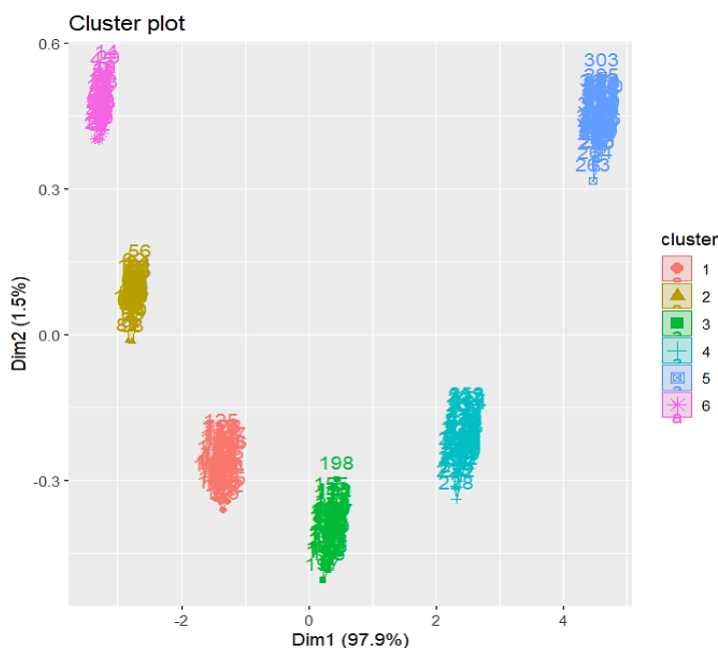


Рисунок 7. Результаты кластеризации для набора данных NO_2 с использованием алгоритма k-means
Примечание – составлено авторами

Каждый кластер 1-5 охватывал 50 векторов сенсорной матрицы, соответствующих введению в многосенсорный газоанализатор газовых смесей калибровки NO₂ в концентрациях 10 ppm, 5 ppm, 20 ppm, 35 ppm и 50 ppm соответственно. Шестой кластер включал 50 измерений, связанных с подачей сухого синтетического воздуха.

Заключение. Проблема загрязнения воздуха является одной из наиболее актуальных экологических проблем современности. В данной работе было продемонстрировано успешное применение металлооксидных хемирезистивных газовых сенсоров в сочетании с методами математической статистики и алгоритмов машинного обучения как важных инструментов для решения этой проблемы.

Разработанная система способна с высокой точностью определять концентрации различных загрязняющих веществ, таких как оксиды азота, аммиак, сероводород, углекислый и угарный газы. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования данного подхода для создания компактных и экономичных систем мониторинга качества воздуха, которые могут быть широко внедрены как в помещениях, так и на открытых пространствах.

Дальнейшие исследования в данной области будут направлены на улучшение селективности сенсоров, разработку новых алгоритмов обработки данных и интеграцию систем мониторинга в единую сеть устройств Интернета вещей для создания "умных городов".

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данная работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP14872171 – «Разработка моделей и алгоритмов обработки и переноса сенсорных данных при производстве мультизадачных газоаналитических систем»).

Список литературы

- Borowik P., Adamowicz L., Tarakowski R., Siwek K., Grzywacz T. (2020). Odor Detection Using an E-Nose with a Reduced Sensor Array. *Sensors*, 20 (12), 3542; <https://doi.org/10.3390/s20123542>.
- Hurot C., Scaramozzino N., Buhot A., Hou Y. (2020). Bio-Inspired Strategies for Improving the Selectivity and Sensitivity of Artificial Noses: A Review. *Sensors*, 20, 1803.
- Yan J., Guo X.Z., Duan S.K., Jia P.F., Wang L.D., Peng C., Zhang S.L. (2015). Electronic Nose Feature Extraction Methods: A Review. *Sensors*, 15, 27804–27831.
- Konduru T., Rains G.C., Li C. (2015). Detecting sour skin infected onions using a customized gas sensor array. *J. Food Eng.*, 160, 19–27.
- Wojnowski W., Majchrzak T., Dymerski T., Gębicki J., Namieśnik J. (2017). Electronic noses: Powerful tools in meat quality assessment. *Meat Science*, Vol. 131, 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.240>.
- Maimunah Mohd Ali, Norhashila Hashim, Samsuzana Abd Aziz, Ola Lasekan. (2020). Principles and recent advances in electronic nose for quality inspection of agricultural and food products *Trends in Food Science & Technology* Volume 99, May, 1-10.
- Adiguzel Y., Kulah H. (2015). Breath sensors for lung cancer diagnosis. *Biosens. Bioelectron.* 65, 121–138.
- Sujono H.A.R., Amin M. (2018). Asthma Identification Using Gas Sensors and Support Vector Machine. *Telkomnika*, 6, 1468–1480.
- Wilson A. (2018). Application of electronic-nose technologies and VOC-biomarkers for the noninvasive early diagnosis of gastrointestinal diseases. *Sensors*, 18, 2613.
- Harrou F., Dairi A., Sun Y., Kadri F. (2018). Detecting Abnormal Ozone Measurements with a Deep Learning-Based Strategy. *IEEE Sens. J.*, 18, 7222–7232.
- Baby R.E., Cabezas M., Walsøe de Reça E.N. (2000). Electronic nose: a useful tool for monitoring environmental contamination *Sensors and Actuators B: Chemical* Volume 69, Issue 3, 25 October, 214-218.
- Norman A., Stam F., Morrissey A., Hirschfelder M., Enderlein D. (2003). Packaging effects of a novel explosion-proof gas sensor. *Sens. Actuators B Chem.* 95, 287–290.

- Kanakam P., Hussain S.M., Chakravarthy A. (2015). Electronic noses: Forestalling fire disasters: A technique to prevent false fire alarms and fatal casualties. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC), Madurai, India, 10–14, 1–6.
- Сатыбалдина Д., Исайнова А., Альсеитов О., Байдельдинов М., Сеилов Ш. (2023). Создание газоаналитической мультисенсорной системы типа «электронный нос» и исследование ее производительности для задач экологического мониторинга. Вестник КазАТК – №125(2), 315–323. // Satibaldina D., Isainova A., Alseitov O., Baideldinov M., Seilov Sh. (2023). Sozdanie gazoanaliticheskoi multisensornoi sistemi tipa «elektronnii nos» i issledovanie ee proizvoditelnosti dlya zadach ekologicheskogo monitoringa. Vestnik KazATK, – №125(2), 315–323.
- Мукатов А.Т., Исайнова А.Н., Глазырина Н.С., Сатыбалдина Д.Ж. (2024). Программное обеспечение подготовки обучающих наборов данных (датасетов) для распознавания основных загрязнителей атмосферного воздуха. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав, охраняемых авторским правом №45747 от 14 мая. // Mukatov A.T., Isainova A.N., Glazirina N.S., Satibaldina D.J. (2024). Programmnoe obespechenie podgotovki obuchayuschih naborov danih (datasetov) dlya raspoznavaniya osnovnih zagryaznitelei atmosfernogo vozduha. Svidetelstvo o vnesenii svedenii v gosudarstvennii reestr prav, ohranyaemie avtorskim pravom №45747 ot 14 maya.
- Сатыбалдина Д.Ж., Сыдыков Д.М., Исайнова А.Н. (2023). Нейросетевой классификатор газов для газоаналитической мультисенсорной системы. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав, охраняемых авторским правом №37464 от 23 июня. // Satibaldina D.J., Sidikov D.M., Isainova A.N. (2023). Neurosetevoi klassifikator gazov dlya gazoanaliticheskoi multisensornoi sistemi. Svidetelstvo o vnesenii svedenii v gosudarstvennii reestr prav, ohranyaemie avtorskim pravom №37464 ot 23 iyunya.
- Alseitov O., Issainova A., Satybaldina D., Konyrkhanova A. (2023). Detection and Classification of the Volatile Organic Compounds from the Petroleum and Petroleum-Derived Products Using an Electronic Nose and Machine Learning Algorithms // Proceedings of International Conference on Electrical Facilities and informational technologies 2023 (ICEIC 2023), Almaty, Kazakhstan, August 22nd to 25th, 218-223.
- Satybaldina D., Baydeldinov M., Issainova A., Alseitov O., Konyrkhanova A., Akhmetova Z., Seilov S. (2023). Artificial Olfactory System for Distinguishing Oil-Contaminated Soils // WSEAS Transactions on Environment and Development, 19, 951–960.
- Сатыбалдина Д., Исайнова А., Глазырина Н., Шагабудинов А. (2024). Статистические методы извлечения признаков для обучения мультисенсорной газоаналитической системы. Вестник КазАТК, №131(2), 250–259. // Satibaldina D., Isainova A., Glazirina N., Shagabudinov A. (2024). Statisticheskie metodi izvlecheniya priznakov dlya obucheniya multisensornoi gazoanaliticheskoi sistemi. Vestnik KazATK, №13 (2), 250–259.
- Мобильный газоанализатор с функцией беспроводной передачи данных для системы мониторинга качества воздуха, Патент РК №9539 на полезную модель, 28.06.2024, по заявке №2024/0827.2 // Mobilnii gazoanalizator s funkciei besprovodnoi peredachi danih dlya sistemi monitoringa kachestva vozduha. Patent RK №9539 na poleznuyu model, 28.06.2024 po zayavke №2024/0827.2
- Stander J., Dalla L.V. (2017). On Enthusing Students About Big Data and Social Media Visualization and Analysis Using R, RStudio, and RMarkdown, Journal Statistics Education, Vollume 25, 60–67.

Information about authors

Khasenova Zarina Toleubekovna – PhD, dean, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: zkhasenova@edu.ektu.kz, ORCID: 0009-0001-1417-7793, +77715492087

Rakysheva Madina Adilkanovna – master of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: mrakysheva@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0002-5050-7390, +77029118914

Issainova Aliya Nasipovna – master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Information Security, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: issainova_an@enu.kz, ORCID: 0000-0001-8008-4096, +77017361017

Glazyrina Natalya Sergeevna – PhD, Acting Associate Professor of the Department of Computer and Software Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: glazyrina_ns_1@enu.kz, ORCID: 0000-0002-0259-774X, +77015263168

Mukatov Abzal Tynyshtybayevich – student of the Department of Computer and Software Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: abzal_mukatov@mail.ru, +7777414761



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_231
IRSTI 44.29.01

**G.M. Abdukalikova¹, L.M. Utebergenova², Zh.A. Shakhmov³,
A.A. Abduova⁴, D.A. Ayazbaev⁵**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

¹E-mail: abdukalikova_gm@mail.ru*

²E-mail: utepber78@mail.ru*

³E-mail: zhanbolat8624@mail.ru*

⁴E-mail: aisulu.abduova@mail.ru

⁵E-mail: ayazbaevdamir91@gmail.com

ASSESSMENT OF PRODUCTION WASTEWATER CONDITION AND MAIN METHODS OF TREATMENT REALIZATION

ӨНДІРІСТІК АҒЫНДЫ СУЛАРДЫҢ ЖАЙ-КҮЙІН ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЗАРТУДЫҢ НЕГІЗГІ ӘДІСТЕРІН БАҒАЛАУ

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД И ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ИХ ОЧИСТКИ

Abstract. This article discusses the problem of assessing the condition of wastewater of production plants and the main methods and ways of their treatment. The main pollutants in the wastewater of production facilities and their impact on the environment are considered. The importance of wastewater quality assessment for ensuring environmental safety of production and preserving the environment is discussed. The main pollutants in the wastewater of production facilities and their impact on the environment are considered. The article presents various wastewater treatment technologies, including physico-chemical and biological methods. It also considers the impact of various pollutants on the state of water resources and possible ways to reduce them. The issues of construction of local treatment facilities at the production site are covered. The necessity of providing wastewater treatment before discharge into water bodies is considered and various treatment technologies are discussed, along with the advantages and disadvantages of each. Overall, the article provides an overview of current wastewater treatment methods and technologies and the importance of utilizing them to improve the environment.

Keywords: industrial wastewater, treatment, filtration, pollutants, organic pollution, collection methods, wastewater sample analysis, local treatment plants.

Аңдатпа. Бұл бапта өндірістік кәсіпорындардың сарқынды суларының жай-күйін бағалау проблемасы және оларды тазартудың негізгі әдістері мен тәсілдері қаралады. Бұл бапта өндірістік кәсіпорындардың сарқынды суларының жай-күйін бағалаудың маңыздылығы және оларды тазартудың негізгі әдістері қаралады. Өндірістік кәсіпорындардың сарқынды суларындағы негізгі ластаушы заттар және олардың қоршаған ортаға әсері қаралды. Өндірістің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету және қоршаған ортаны сақтау үшін сарқынды сулардың сапасын бағалаудың маңыздылығы талқылануда. Өндірістік кәсіпорындардың сарқынды суларындағы негізгі ластаушы заттар және олардың қоршаған ортаға әсері қаралды. Физикалық-химиялық және биологиялық әдістерді қоса алғанда, ағынды суларды тазартудың әртүрлі технологиялары ұсынылған. Сондай-ақ әртүрлі ластаушы заттардың су ресурстарының жай-күйіне және оларды төмендетудің ықтимал жолдарына әсері қаралды.

Өндірістік алаңда жергілікті тазарту құрылыстарының құрылысы туралы айтылды. Сарқынды суларды су қоймаларына ағызу алдында тазарту қажеттілігі қаралады, тазартудың әртүрлі технологиялары, олардың әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері талқыланады. Тұтастай алғанда, мақалада сарқынды суларды тазартудың заманауи әдістері мен технологияларына шолу және оларды қоршаған ортаның жай-күйін жақсарту үшін пайдаланудың маңыздылығы ұсынылған.

Түйін сөздер: өнеркәсіптік ағынды сулар, тазарту, сүзу, ластаушы заттар, органикалық ластаушы заттар, жинау әдістері, ағынды сулардың сынамаларын талдау, жергілікті тазарту қондырғылары.

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема оценки состояния сточных вод производственных предприятий и основные методы и способы их очистки. В данной статье рассматривается важность оценки состояния сточных вод производственных предприятий и основные методы их очистки. Рассмотрены основные загрязняющие вещества в сточных водах производственных предприятий и их влияние на окружающую среду. Обсуждается важность оценки качества сточных вод для обеспечения экологической безопасности производства и сохранения окружающей среды. Рассмотрены основные загрязняющие вещества в сточных водах производственных предприятий и их влияние на окружающую среду. Представлены различные технологии очистки сточных вод, включая физико-химические и биологические методы. Также рассмотрено влияние различных загрязняющих веществ на состояние водных ресурсов и возможные пути их снижения. Освещены вопросы строительства локальных очистных сооружений на производственной площадке. Рассматривается необходимость очистки сточных вод перед сбросом в водоемы, обсуждаются различные технологии очистки, преимущества и недостатки каждой из них. В целом в статье представлен обзор современных методов и технологий очистки сточных вод и важность их использования для улучшения состояния окружающей среды.

Ключевые слова: промышленные сточные воды, очистка, фильтрация, загрязняющие вещества, органические загрязнения, методы сбора, анализ проб сточных вод, локальные очистные сооружения.

Introduction. Industrial wastewaters are one of the main sources of environmental pollution. They contain various chemical substances, toxic compounds and microorganisms that can cause serious harm to nature and human health. Therefore, it is important to assess the condition of wastewater and develop methods of its treatment.

Assessment of production wastewater condition includes analysis of physico-chemical and biological parameters of water. Concentrations of pollutants, acidity values, temperature, odor and other characteristics are determined. These data make it possible to understand the degree of water contamination and determine the necessary treatment measures.

To ensure effective treatment of industrial wastewater, it is also important to take into account seasonal changes and fluctuations in contaminants. For example, during rains, the amount of contaminants entering the wastewater may increase, requiring additional treatment measures. In addition, it is necessary to pay attention to possible external sources of pollution, which may affect the quality of wastewater and require additional treatment measures. It is also necessary to take into account the specifics of the contaminants that are present in a particular production process. For example, biological methods may be used to remove organic contaminants, which are based on the activation of living organisms to decompose harmful compounds. It is also important to consider possible toxic substances that require specialized cleaning methods to prevent their release into the environment.

To improve the efficiency of wastewater treatment, it is also advisable to implement systems for recycling and reuse of treated water in production processes. This will reduce the consumption of water resources, reduce the load on treatment facilities and save money on fresh water procurement. This approach helps to save resources and reduce the negative impact of production on the environment, which is in line with the principles of sustainable development and responsible business conduct.

Compliance with regulatory requirements and water quality standards is also an important aspect in selecting wastewater treatment methods. Violation of these requirements can lead to fines and sanctions from regulatory authorities, as well as possible risks to human health and the environment. Therefore, it is necessary to strictly comply with all norms and standards when designing and operating wastewater treatment plants.

The main methods of realization of wastewater treatment include physical-chemical, biological and complex methods. Physico-chemical methods include filtration, coagulation, sedimentation and other processes aimed at removing pollutants from water. Biological methods are based on the use of living organisms (bacteria, algae) to purify water from organic matter. Complex methods involve the combination of several treatment techniques to achieve optimal results.

In addition, the selection of wastewater treatment methods must take into account the economic component. Some treatment methods may be more costly than others, so it is important to conduct a cost analysis and select the optimal combination of methods that will provide effective treatment at the lowest possible cost. Continuous improvement of treatment technologies and the search for new innovative solutions are also key environmental challenges.

Finally, special attention should be paid to controlling the treatment processes and monitoring the quality of treated water. Regular analyses and inspections will allow timely identification of possible deviations and problems in the operation of treatment facilities, which will allow promptly taking measures to eliminate them and prevent possible emergencies. Thus, an integrated approach to the assessment and treatment of production wastewater is a key element in ensuring environmental safety and sustainable development of industry.

Assessment of industrial wastewater and application of appropriate treatment methods play an important role in preserving environmental safety and human health. It is necessary to continuously improve treatment and waste management technologies to minimize negative environmental impact and ensure sustainable industrial development.

Methods and Materials. Methods for collecting and analyzing wastewater samples include:

Spot samples (Figure 1): used to analyze the main pollutants and compare them to maximum allowable concentrations.

Periodic sampling: divided into time-dependent, flow-dependent and volume-dependent samples. Time-dependent samples are taken in a certain volume with time fixation, flow-dependent samples are taken at a constant flow rate, and volume-dependent samples are taken in a certain sample volume without taking time into account (Desmidt, Ghyselbrecht, ZHANG, Pinoy, Bruggen, Verstraete, Rabaey, Meesschaert, 2015).

Continuous sampling: divided into two types - constant and non-continuous water flow. The constant flow allows to obtain data on water quality composition, while the non-permanent flow allows to determine the indicators of large volumes of water and is a more accurate method.

Serial sampling: samples are taken at different locations and depths or at the same depth but at different locations.

Composite Sample: consists of several samples obtained by one of the continuous methods.

Before applying a particular type of wastewater collection and analysis, it is necessary to categorize wastewater according to the main types of contaminants 1-4.

Industrial wastewater is divided into mineral content, organic matter and mixed contaminants (Vasilenko, Nikiforov, Lobukhina, 2019). For some wastewaters it is necessary to determine their epidemiological hazard, which may consist in the fact that their composition may include not only helminths and E. coli bacteria, but also pathogens of such serious and dangerous diseases as anthrax, sappe and others. Such wastewater can include wastewater from slaughterhouses, leather factories, and agricultural complexes.

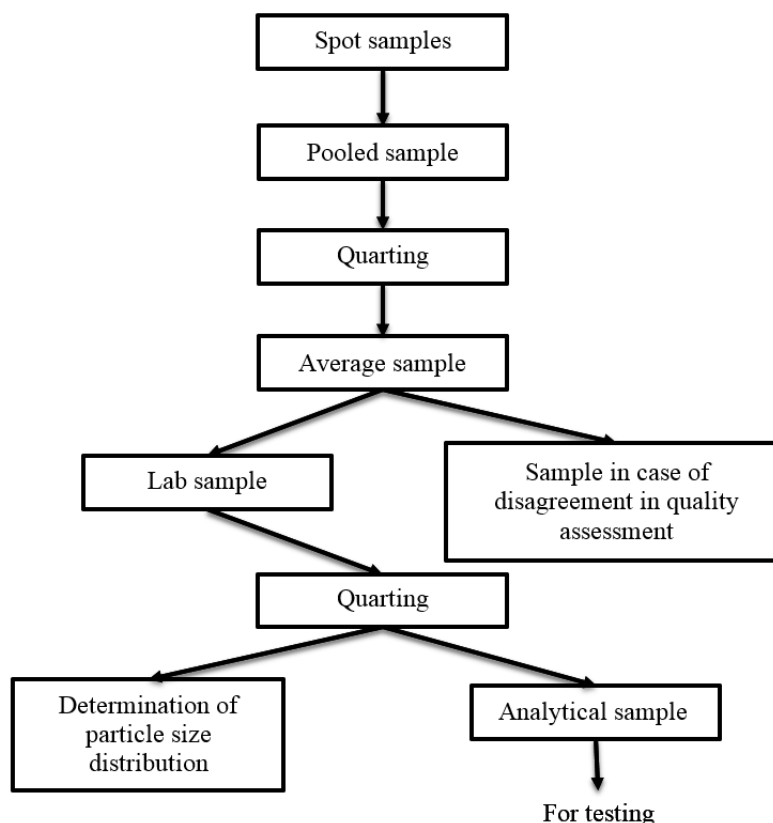


Figure 1. Sampling and sample preparation scheme

Note – compiled by the authors based on «Water supply and sanitary engineering» (Kevbrina, 2019)

In addition, wastewater has different pH reactions of the aquatic environment, which also affects the preparation, sampling of wastewater and selection of the approved methodology for the determination of its main polluting components. At the same time, wastewaters are subdivided into slightly acidic, with pH in the range from 6 to 6.5; slightly alkaline, for which these values lie in the range from 8 to 9 and neutral, which are in between 6-7.

There are strongly acidic and strongly alkaline effluents, the pH range of which lies beyond slightly acidic and slightly alkaline. The concentration of contaminants in wastewater is also significant in sampling, as different analytical methods can be used to determine the contaminants. Wastewater is subdivided by the degree of contamination into high, medium and low concentration wastewater.

In production technologies of one and the same enterprise can be formed wastewater with completely different characteristics, including radically different in the concentration of pollutants, the reaction of the medium, as well as the phase composition and nature of pollutants.

If the technological process used at the enterprise involves the formation of such local effluents, radically different in their physical and chemical characteristics, it is necessary to focus on sampling before they enter the general sewer (Koganovskiy, Klimentko, 2013).

Some industrial effluents have elevated concentrations of substances in the colloidal solution state, in the form of finely suspended, or emulsified phase. The main problem in almost all operating wastewater treatment plants is the slowing down of the wastewater flow to be treated, which is usually caused by poor distribution of inflow and discharge.

When analyzing the operation of existing wastewater treatment facilities, it is necessary to assess the possibilities of treatment of the main wastewater flow with their help (Belov, Kevbrina, Aseyeva, Gavrilin, Gazizova, Potentsial, 2012). If a large hydraulic load on the hydraulic separation of solid and liquid phase is detected, the possibility of installing additional equipment should be considered, as well as averaging the volume of incoming industrial wastewater.

Industrial enterprises discharge wastewater into water bodies only after its treatment in treatment facilities. The section of the reservoir from the place of effluent discharge is conditionally divided into zones: 1) initial dilution, in which the effluent flow velocity (v_c) is significantly higher than the water flow velocity (v_n); 2) basic dilution, in which the effluent mixing is due to turbulent diffusion; 3) self-cleaning zone, which is not taken into account in the calculations.

Total effluent dilution is defined as the product of the multiples of the initial and main dilutions (n_H and n_o) resulting from mixing of effluent in zones 1 and 2.

The value of n_H is determined by the formula:

$$n_H = \frac{0.248}{m} d^2 \left(\sqrt{m^2 + 8.1 \left(\frac{1-m}{d^2} \right)} - m \right) \quad (1)$$

where: d – is the ratio of the calculated jet diameter to the outlet diameter; m is a dimensionless coefficient, the value of which is found by the formula:

$$m = \sqrt{\frac{P_p}{P_c} + \frac{v_n^2}{v_c^2}} \quad (2)$$

where: P_p and P_c – are the densities of water and SW fluxes, respectively, usually equal to one.

The value of n_o is considered as the inverse of the mixing coefficient γ determined by the formula:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\sqrt[3]{\ell_f}}}{1 + \frac{Q_{min}}{Q_{max}} e^{-\sqrt[3]{\ell_f}}} \quad (3)$$

where: ℓ_f – is the distance from the NE outlet to the water use site along the fairway, m.

It should be noted that for biological treatment facilities for industrial wastewater are very significant factors (Kozlov, Bogomolov, Kevbrina, Nikolayev, Kolbasov, 2014):

- variability in the flow rate of wastewater,
- high, or on the contrary, too low content of organic matter in the effluent,
- dissolved oxygen concentration,
- mixing conditions that determine the degree of contact between wastewater contaminants and activated sludge microorganisms,
- content of biogenic elements, primarily nitrogen and phosphorus,
- the content of toxic substances present in the effluent,
- strong changes in the composition of the wastewater,
- the temperature and reaction of the medium,
- development of harmful microorganisms that contribute to the swelling of activated sludge and suppression of beneficial bacteria, which include filamentous bacteria and fungi.

Causes of ineffective wastewater treatment include:

- inadequate aeration,
- residence time of the effluent at the biological treatment stage,
- or incorrect selection of equipment at the stage of solid phase separation of pollutants.

Other factors limiting the quality of wastewater treatment include the appearance of stagnation in the processes of biochemical oxidation of succulent water, leading to the formation

of non-deposited solid phase of pollutants, as well as the release of gases that have a pronounced odor and cause deposits that prevent the normal operation of equipment (Hammer, 2017).

Figure 2 shows the schematic diagram of technological wastewater treatment.

- 1) RD-600 type crusher grates
- 2) Tangential sand trap
- 3) Radial settling tank with thin layer blocks
- 4) Radial flotator (pressure)
- 5) Contact chamber
- 6) Double-layer filter

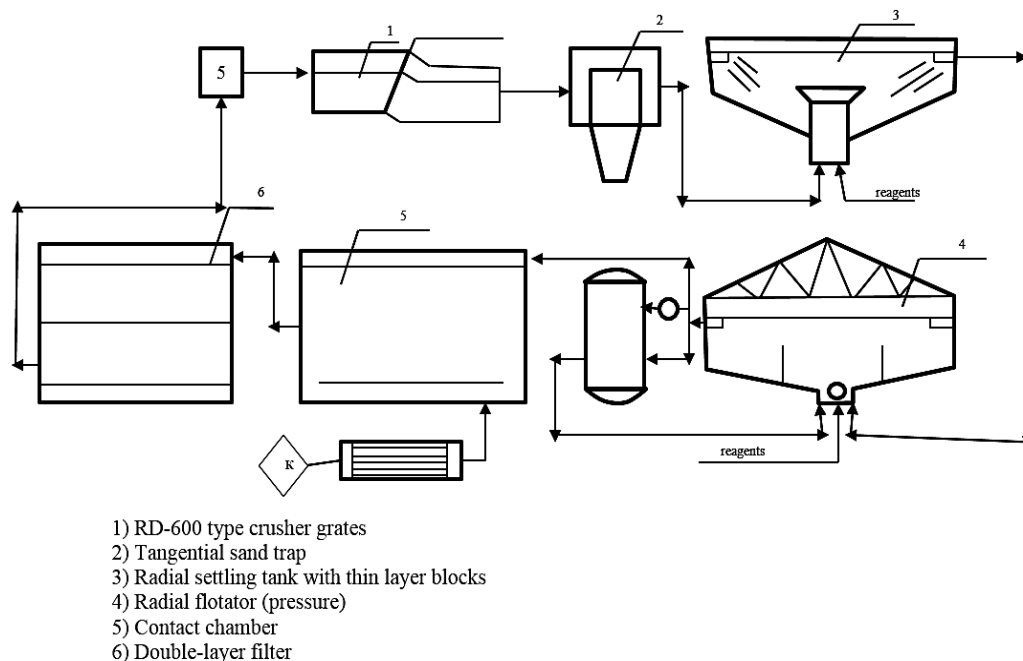


Figure 2. Scheme of technological wastewater treatment

Note – compiled by the authors based on “Efficiency of microfiltration on disk filters for detention of suspended solids of biologically treated wastewater” (Kozlov, 2014)

Local wastewater treatment plants: the key to sustainable development.

Local wastewater treatment plants play an important role in the water management system, providing wastewater treatment at the local level (Zhukov, 2018). These facilities can be either part of individual residential buildings or an element of infrastructure of small settlements or enterprises.

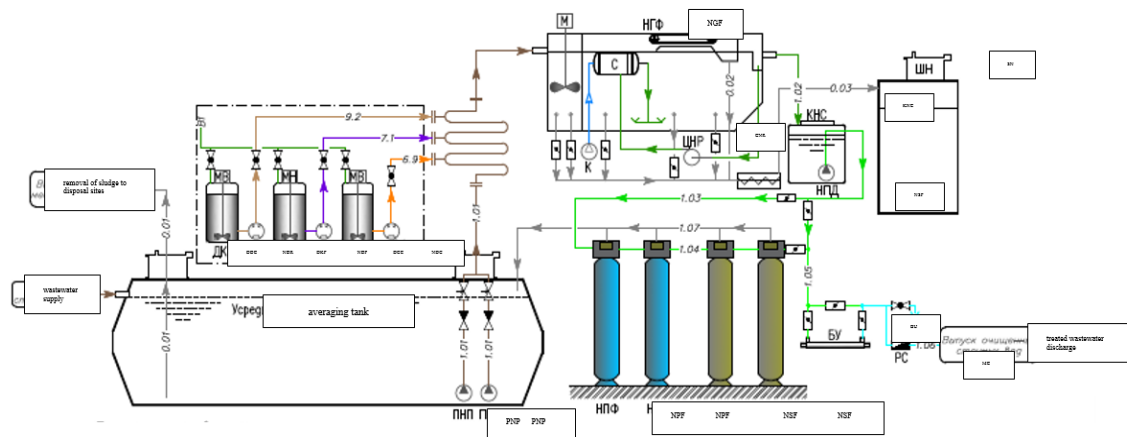
Local wastewater treatment plants usually include several stages of treatment:

1. Mechanical cleaning: removal of coarse solids and sludge.
2. Biological treatment: the use of microorganisms to decompose organic pollutants.
3. Chemical cleaning: neutralization of harmful chemicals.

The advantages of localized wastewater treatment plants are:

- Resource savings: less need for centralized treatment plants and wastewater transportation;
- Flexibility: adaptability to specific conditions and needs;
- sustainability: reducing dependence on centralized systems and increasing water use efficiency.

Results. The article considers in detail the issue of installation of industrial wastewater treatment plant, or otherwise - local treatment plant, at production facilities in order to remove contaminants and the possibility of discharging water from technological processes without harming the environment (Evilovich, 2011). The treatment processes are fully automated and require minimal maintenance (Fig. 3). The implementation of treatment facilities, recycled water supply, which allows enterprises to save significant funds, as well as the use of membrane bioreactors has been studied. The use of membrane bioreactors significantly reduces the area of treatment facilities, and the high degree of automation of processes makes the treatment facilities easy to operate (Paramonova, 2015). This kind of treatment facilities have high efficiency due to the full development of technological solutions and accurate selection of the necessary equipment.



| | | | |
|-----|---------------------------------|-----|------------------------------|
| PNP | Submersible feed pump | SN | Sludge storage |
| NGF | Floor horizontal | MS. | Flow meters meters |
| C | saturator | MB | Mixer high cleaner |
| K | compressor | MN | Mixer |
| CNR | Centrifugal pump | DDC | Dispersed colloidal reagents |
| M | Mixer | DKF | compressor flocculator |
| KNS | Pumping station | DCC | compressor |
| NAP | Submersible aftertreatment pump | NDR | Dispenser pump |
| NPF | sand filter | NDF | Pump-dosing flocculator |
| NSF | Floor sorption filter | NDC | Dispenser pump |
| BU | Bacteriological plant | | |

Figure 3. Technological scheme of wastewater treatment facilities

Note – compiled by the authors based on “Efficiency of microfiltration on disk filters for detention of suspended solids of biologically treated wastewater” (Kozlov, 2014)

Values of estimated concentrations of pollutants after treatment facilities are given in Table below and meet the requirements for water of fishery water bodies (Order of the Minister of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan "Water quality standards and maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance", SanPiN 2.1.5.980-00 "Hygienic requirements for the protection of surface waters").

Table 1. Concentrations of pollutants at the outlet of the treatment plant

| Name of indicators | Units of measurement | Quantity, not more |
|---|----------------------|--------------------|
| BOD full. | mgO /L ₂ | 3 |
| Suspended solids | mg/l | 3 |
| Ammonium nitrogen (N-NH) ₄ | mg/l | 0,39 |
| Nitrate nitrogen (N-NO) ₃ | mg/l | 9,1 |
| Nitrate nitrogen (N-NO) ₂ | mg/l | 0,02 |
| SPAV | mg/l | 0,1 |
| Phosphates (by P) | mg/l | 0,2 |
| Fats | mg/l | - |
| pH | - | 6,5-8,5 |
| <i>Note – compiled by the authors based on “Water supply and sanitary engineering” (Kevbrina, 2019)</i> | | |

The introduction of local treatment facilities at industrial enterprises is necessary from the point of view of compliance with the norms of legislation in the field of wastewater disposal, according to which enterprises are obliged to have and properly operate local treatment facilities and provide preliminary treatment of wastewater discharged into the centralized wastewater disposal system. The greatest effect is achieved at enterprises whose production effluents contain environmentally hazardous substances (Gudkov, 2013). Implementation of complete treatment plants of block-modular type is especially appropriate in severe climate conditions and in the absence of the possibility of capital construction directly on the site.

The following effect is achieved from the introduction of local treatment facilities at industrial enterprises:

- fulfillment of legislative norms in the field of wastewater disposal;
- reduction of payments for wastewater discharge, sludge removal, etc;
- increasing the economic and technological independence of enterprises.

Conclusion. High standards of water quality, both in industrial and natural water bodies, are essential to ensure human health and well-being, biodiversity and ecosystem stability. Therefore, it is necessary not only to improve existing wastewater treatment methods, but also to invest in the development of new technologies that can effectively combat pollution and ensure sustainable use of water resources.

Local wastewater treatment plants are an important tool for achieving sustainable water management. They contribute to preserving the ecological balance, improving water quality and enhancing the quality of life of the population. The development and implementation of new technologies in this field offers great prospects for improving the environmental situation and economic development of regions.

Effective assessment of wastewater condition and implementation of wastewater treatment methods are an integral part of sustainable production development. Only by joint efforts of the state, enterprises and population can we preserve water resources of our planet for future generations. Therefore, it is important to continue research and implement new technologies to ensure clean water and a healthy environment.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements. This research is funded by the authors' own funds.

“Notification of the use of generative AI and technologies using it in the process of writing the manuscript”. The authors did not use tools of artificial intelligence services in the preparation of this paper.

References

- E. Desmidt, K. Ghyselbrecht, Y. ZHANG, L. Pinoy, B. Bruggen, W. Verstraete, K. Rabaey, B. Meesschaert. Global Phosphorus Scarcity and Full-Scale P-Recovery Techniques: A Review // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2015, No. 45, pp.336-384.
http://www.mediana-eco.ru/information/stoki_biological/bioreactor/
- M.V. Kevbrina, A.G. Dorofeev, A.M. Agarev, M.N. Kozlov, Y.A. Nikolaev, V.G. Aseeva. Anammox - a promising technology for nitrogen removal from wastewater. "Water supply and sanitary engineering". – 2019. – № 5, 28-35.
- M. Hammer. Technology of natural and waste water treatment. – 2017. – 321 p.
- Пахомов А.Н., Стрельцов С.А., Козлов М.Н., Харькина О.В., Хамидов М.Г. Ершов Б.А., Белов Н.А. Опыт эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора // «Водоснабжение и санитарная техника», 2010. – № 10. – С. 35-41 // Pakhomov A.N., Strel'tsov S.A., Kozlov M.N., Khar'kina O.V., Khamidov M.G. Yershov B.A., Belov N.A. Opyt ekspluatatsii sooruzheniy biologicheskoy ochistki stochnykh vod ot soyedineniy azota i fosfora. // «Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika», 2010. – № 10. – С. 35-41.
- Василенко Л.В., Никифоров А.Ф., Лобухина Т.В. Методы очистки промышленных сточных вод: учебник. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. – 174 с. // Vasilenko L.V., Nikiforov A.F., Lobukhina T.V. Metody ochistki promyshlennykh stochnykh vod: uchebnyk. – Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2019. – 174 s.
- Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод: Учебное пособие. – Вологда: ВОГТУ, 2013. – 152 с. // Gudkov A.G. Mekhanicheskaya ochistka stochnykh vod: Uchebnoye posobiye. – Vologda: VOGTU, 2013. – 152 s.
- Когановский А.М., Клименко Н.А. и др. Очистка и утилизация сточных вод в промышленном водоснабжении. – Москва: Химия, 2013. – 288 с. // Koganovskiy A.M., Klimenko N.A. i dr. Ochistka i utilizatsiya stochnykh vod v promyshlennom vodosnabzhenii. – Moskva: Khimiya, 2013. – 288 s.
- Белов Н. А., Кевбрина М. В., Асеева В. Г., Гаврилин А. М., Газизова Н. Г. Потенциал подкисления поступающих сточных вод и сырого осадка очистных сооружений Москвы ВСТ, 2012, № 10 // Belov N. A., Kevbrina M. V., Aseyeva V. G., Gavrilin A. M., Gazizova N. G. Potentsial podkislaniya postupyayushchikh stochnykh vod i syrogo osadka ochistnykh sooruzheniy Moskvy VST, 2012, № 10
- Козлов М.Н., Стрельцов С.А., Кевбрина М.В., Гаврилин А.М., Газизова Н.Г. Подкисление (преферментация) как метод стабилизации сырого осадка при очистке сточных вод от биогенных элементов // «Водоснабжение и санитарная техника», 2013. – № 5. – С. 13-20 // Kozlov M.N., Strel'tsov S.A., Kevbrina M.V., Gavrilin A.M., Gazizova N.G. Podkislaniye (prefermentatsiya) kak metod stabilizatsii syrogo osadka pri ochistke stochnykh vod ot biogennykh elementov. // «Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika.», 2013. – № 5. – С.13-20.
- Козлов М.Н., Богомолов М.В., Кевбрина М.В., Николаев Ю.А., Колбасов Г.А. Эффективность микрофльтрации на дисковых фильтрах для задержания взвешенных веществ биологически очищенных сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. – № 10. – С. 59-65 // Kozlov M.N., Bogomolov M.V., Kevbrina M.V., Nikolayev YU.A., Kolbasov G.A. Effektivnost' mikrofil'tratsii na diskovykh fil'trakh dlya zaderzhaniya vzveshennykh veshchestv biologicheskii ochishchennykh stochnykh vod // Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika. 2014, № 10. – С. 59-65.
- Колесников А.В. В.В., Лобачева Г.К. Методы очистки сточных вод. Альманах-2004. Волгоградский филиал МААНОИ. - Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2014. 272-275 с. // Kolesnikov A.V. V.V., Lobacheva G.K. Metody ochistki stochnykh vod. Al'manakh-2004. Volgogradskiy filial MAANOI. – Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy universitet, 2014. – 272-275 s.
- Жуков А.И. Методы очистки промышленных сточных вод. – М.: Наука, 2018.- 123 с. // Zhukov A.I. Metody ochistki promyshlennykh stochnykh vod. – M.: Nauka, 2018. – 123 s.
- А.З. Евилевич. Утилизация осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 2011. – 234 с. // A.Z. Evilovich. Utilizatsiya osadkov stochnykh vod. – M.: Stroyizdat, 2011. – 234 s.
- Парамонова С.В, Федоров Г.Ю Вестник магистратура 2015. – № 11 (50). – Т. 1 // Paramonova S.V., Fedorov G.Yu. Vestnik magistratura. 2015. – № 11 (50). – Т. 1.

Information about authors

Abdualikova G.M. – Senior instructor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. abdualikova_gm@mail.ru

Utebergenova L.M. – Candidate of Technical Sciences, associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. uteber78@mail.ru

Shakhmova Zh.A. – PhD, Associated professor, Department of Civil engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. zhanbolat8624@mail.ru

Abduova A.A. – Head of the "Ecology" Department. M. Auezov South Kazakhstan research University aisulu.abduova@mail.ru

Ayazbaev D.A. – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. ayazbaevdamir91@gmail.com

ҚҰРЫЛЫС
СТРОИТЕЛЬСТВО
CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_240
MPHTI 67.09.05

Г.А. Байзакова¹, О.В. Руденко¹, Д.К. Аноп¹, Е.П. Герасимов²

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан
E-mail: GBaizakova@edu.ektu.kz*
E-mail: ORudenko@edu.ektu.kz
E-mail: danop@edu.ektu.kz

²Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств
им. А.Д. Крычкова, г. Новосибирск, Россия
E-mail: EPGerasimov@nsuada.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, В СОСТАВЕ КОТОРОГО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ СТЕКЛО

ҚҰРАМЫНДА ҰСАҚ ДИСПЕРСТІ ШЫНЫ ҚОЛДАНЫЛАТЫН БЕТОННЫҢ БЕРІКТІГІН ЗЕРТТЕУ

INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF CONCRETE IN WHICH FINE GLASS IS USED

Аннотация. В настоящее время строительная практика характеризуется все большим применением высокотехнологичных бетонов нового поколения, к которым относятся плотные и высокопрочные бетоны. В условиях высокой стоимости природных сырьевых материалов особую ценность представляют научно-исследовательские работы, выявляющие новые возможности по использованию отходов в создании строительных материалов на их основе. Одновременно с этим решается задача утилизации промышленных и бытовых отходов. В данной статье рассматривается возможность замены в производстве бетона части цементной составляющей переработанным мелкодисперсным стеклом. Проведенные исследования дают возможность не только уменьшить количество используемого цемента, но и увеличить прочностные свойства бетона, а также частично решить вопросы экологического характера.

Ключевые слова: Бетон; стекло; отходы; мелкодисперсность; прочность; образцы; разрушение.

Андапта. Қазіргі уақытта құрылыс практикасы тығыз және беріктігі жоғары бетондарды қамтитын жаңа буынның жоғары технологиялық бетондарын көбірек қолданумен сипатталады. Табиғи шикізат материалдарының жоғары құны жағдайында қалдықтарды олардың негізінде құрылыс материалдарын жасауда пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін анықтайтын ғылыми-зерттеу жұмыстары ерекше мәнге ие. Сонымен қатар, өнеркәсіптік және тұрмыстық қалдықтарды кәдеге жарату мәселесі шешілуде. Қайта өңделген шыны қалдықтарын бетон өндірісінде толтырғыш ретінде пайдалану туралы осы мақалада жүргізілген зерттеу цемент компонентінің бір бөлігін қайта өңделген ұсақ дисперсті шынының ауыстыру мүмкіндігін қарастырады. Жүргізілген зерттеулер пайдаланылатын цемент мөлшерін азайтуға ғана емес, сонымен қатар бетонның беріктік қасиеттерін арттыруға, сондай-ақ экологиялық мәселелерді ішінара шешуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: бетон; шыны; қалдықтар; ұсақ дисперсия; беріктік; үлгілер; сынау.

Annotation. Currently, construction practice is characterized by the increasing use of high-tech concretes of a new generation, which include dense and high-strength concretes. In conditions of high cost of natural raw materials, research works that identify new opportunities for the use of waste in the creation of building materials based on them are of particular value. At the same time, the task of recycling industrial and household waste is being solved. In this article on the use of recycled glass waste as a filler in the production of concrete, the conducted research considers the possibility of replacing part of the

cement component with recycled fine glass. The conducted research makes it possible not only to reduce the amount of cement used, but also to increase the strength properties of concrete, as well as partially solve environmental issues.

Keywords: concrete; glass; waste; fine dispersion; strength; samples; destruction.

Введение. Ежегодно в Казахстане образуется около 4,5-5 млн. тонн твердых бытовых отходов, из них только 15 % перерабатывается. На сегодняшний день в нашей стране накоплено 31,6 млрд. тонн отходов производства и потребления, из них на долю ТБО приходится 100 млн. тонн, остальной объем – промышленные отходы, представляющие угрозу экологической безопасности страны. Количество стеклобоя для различных территорий составляет 6-17 % масс.

Утилизация боя стекла является актуальной научно-технической задачей, так как стекло является ценным вторичным ресурсом. Следует признать, что количество стекла, накопленного и продолжающего поступать в окружающую среду, сопоставимо с природными геологическими ресурсами, используемыми человечеством.

Следует отметить, что с экологической точки зрения стекло является трудно утилизируемым отходом. Это коррозионноустойчивый материал, который не разрушается под действием воды, мороза, сильных и слабых органических и минеральных кислот, солей, бактерий. Стекло сохраняется без разрушений сотни лет.

На данный момент стекло не перерабатывается в полном объеме в силу ряда причин: неоднородность химического состава сырья, наличие загрязняющих примесей, высокая стоимость выделения стекла из смеси ТБО, невозможность окислить или разложить стекло. Большую часть стеклобоя составляет бой тарного и листового стекла, относящийся по химическому составу к натрий-кальций-силикатным стеклам (ГОСТ EN 572-1-2016, 2017).

Быстро развивающиеся темпы строительства приводят к проблеме дефицита природного сырья для производства материалов строительного назначения. В связи с этим задачей строительной индустрии является переориентация предприятий на потребление техногенного сырья (Минько, Калатоzi, 2018).

Актуальность работы заключается в возможности утилизации отходов стекла и применения стеклобоя для изготовления прочного бетона. Методика утилизации стеклобоя, позволяющая получить стройматериалы, в настоящее время вызывает особый интерес. Поэтому тематика разработки строительных материалов на основе отходов промышленности и быта в настоящее время становится все более актуальнее. Главной задачей является исследовать возможность замещения части цемента в составе тяжелого бетона мелкодисперсным стеклом (II Sun, So Yeong & Eun Ik, 2018).

Литературный обзор. В работе Хусейна Хамада (факультет гражданского строительства Малайзийского университета Паханг в Малайзии) представлен краткий обзор свежих, механических и прочностных свойств обычного и высокопрочного бетона, содержащего заполнители из отходов стекла (Hussein, Alyaa, Bassam, Fadzil & Blessen, 2022). Размер, тип, коэффициент замены стеклобоя, помимо способов замешивания и твердения бетона, существенно влияют на механические и прочностные характеристики. Бетон, содержащий порошкообразную стеклянную крошку, обладал превосходными прочностными характеристиками благодаря мелкопористой структуре пор и уплотненной микроструктуре. Полученные данные показали, что отходы стекла потенциально могут быть использованы в качестве крупных и мелких заполнителей в производстве бетона.

Китайским автором Вейсон Инь было проведено исследование механических свойств высокопрочного бетона, включающего в себя отходы стекла в качестве вяжущего материала и мелкого заполнителя (Weisong, Xinping, Youzhi & Yifei, 2023). Порошок

отработанного стекла и песок отработанного стекла были введены в бетон и использованы для частичной замены цемента и речного песка соответственно. Было исследовано индивидуальное влияние введенных компонентов на текучесть, реологию, тиксотропию, щелочно-кремнеземную реакцию, механические свойства и микроструктуру. Результаты показали, что удобоукладываемость, тиксотропность и механические свойства бетона с включением порошка отработанного стекла улучшились. После испытаний в присутствии стекла не наблюдалось очевидной опасности расширения. 20 % порошка отработанного стекла (20 % массы вяжущего) и 10 % песка отработанного стекла (по массе заполнителя) продемонстрировали лучший синергетический эффект на свойства высокопрочного бетона. При такой замене был получен наивысший результат комплексной оценки, что свидетельствует об оптимальном использовании отходов стекла.

Автор из Бангладеша Хондакер Сакил Ахмед проделал обширный обзор свойств бетона с переработанным стеклом (Khondaker, Lutfar, 2023). Применение переработанных отходов стекла в бетоне вызывает большой интерес в строительной отрасли, поскольку он обеспечивает более зеленую окружающую среду за счет сокращения выбросов углерода. Уже проведено большое количество исследований физико-механических свойств цементного раствора и бетона, содержащего стеклобой. В обзоре автора рассматриваются эффекты отходов стекла в бетоне в качестве замены песка, цемента или даже крупного заполнителя. По данным группы исследователей, включение в состав переработанного стекла до 20-30 % значительно повышает прочность бетона. Таким образом, это может быть отличным вариантом для замены природного заполнителя, несмотря на то, что добавление стекла в бетон может привести к расширению бетона за счет щелочно-кремнеземной реакции.

В работе Иванко М.В. «Применение отходов стекла в производстве строительных материалов» (Иванко, 2017) автором был проведен комплекс экспериментально-теоретических исследований по обоснованию возможности использования стеклобоя в качестве заполнителя для производства бетона, исследованы свойства получаемого бетона с использованием стеклобоя, уточнен механизм его влияния на свойства бетона. Согласно результатам испытаний, наблюдается небольшой набор прочности бетона (10 %) с 15 % содержанием стеклобоя в дробленном песке из гранита. При увеличении количества стеклобоя прочность снижается.

Согласно исследованиям, проведенным вышеназванным автором Хусейном Хамада (Hussein, Alyaa, Bassam, Fadzil & Blessen, 2022), полагается, что для получения бетона с более высокими характеристиками лучше использовать стеклобой в качестве мелкого заполнителя с количеством замещения, не превышающим 20 %. Джерри Ли с кафедры гражданского и строительного проектирования Гонконгского политехнического университета в соавторстве с другими исследователями (Gerry, Chi, Yuk & Tung, 2015) в своей работе изучали прочность на сжатие бетонных блоков с содержанием стеклянных отходов разных фракций. Они заметили, что прочность на сжатие бетона, содержащего стекла фракций менее 0,60 мм стекла, в течение 28 дней достигает сверхвысокой прочности. Это указывает на то, что более мелкие фракции стекла проявляют заметную пуццолановую реакционную способность. Отмечено, что при использовании в качестве заполнителя стеклобоя в бетонных блоках достигается снижение водопоглощения и улучшается стойкость к истиранию за счет высокой твердости самого стекла.

Индийскими исследователями С. Аривалаганом и В.С. Сетураманом (Arivalagan, Sethuraman, 2021) был проведен эксперимент на изучение механических свойств бетона в случае ввода в бетонную смесь в качестве мелкого заполнителя стекольного порошка. Отходы стеклянной пыли использовались в качестве частичной замены песка в составе

10, 20 и 30 % бетонных смесей. Готовые образцы были исследованы на прочность на сжатие, растяжение и изгиб для 7, 14 и 28-дневного возраста бетона. Проводилось сравнение с образцами бетона, изготовленного с использованием природного мелкого заполнителя. По результатам этой экспериментальной работы было заметно, что увеличение прочности наблюдается при замене песка порошком стеклянных отходов.

В работе Алтыновой А.Е. «Исследование и разработка технологии получения бетона с использованием переработанных отходов стекла» (Алтынова, Айдарова, Саркенов 2015) рассмотрен эксперимент, в котором автор изучал прочность бетона с замещением в его составе цемента мелкодисперсным стеклом. Проведенное исследование позволяет утверждать, что подобная замена является приемлемым способом, как для уменьшения использования цемента, так и для улучшения прочностных свойств бетонной смеси. И по результатам исследования автора, наиболее приемлимым количеством замены цемента стеклом оказалось 15% стекла от общей массы бетонной смеси.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились на базе Центра компетенций и трансферта технологий в области строительства Школы архитектуры, строительства и энергетики Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева.

Для проведения эксперимента было выбрано стекло, которое наиболее часто встречается в бытовых отходах - темное и светлое бутылочное стекло.

Для получения мелкой фракции стекла использовалось специальное оборудование. Изначально стекло было измельчено в дробилке (Рис. 1). Затем, для того чтобы получить более мелкие фракции, использовалась вибромельница (Рис. 2). После чего полученный материал с помощью сит диаметром 1,25 мм, 0,2 мм и 0,08 мм был разделен на нужные фракции.



Рисунок 1. Дробление стекла в дробилке

Примечание – составлено автором

Исследование проводилось с оптимальным процентом замены цемента добавкой полученной из стеклобоя. Согласно вышеуказанной работе Алтыновой, принимаем, что процент оптимальной мелкодисперсной стеклянной добавки в бетон составляет 15 %.



Рисунок 2. Подготовка мелкодисперсного стекла с помощью вибромельницы

Примечание – составлено автором

Оценка влияния стеклянной добавки на прочность бетона производилась по прочности на сжатие стандартных образцов-кубов с ребром 150 мм. Для этого использовались образцы-кубы с ребром 100 мм с последующим приведением результатов к значениям стандартных образцов.

Испытания проводились на четырех сериях образцов:

- 1 серия – образцы бетона базового состава (без добавления в бетон стеклобоя);
- 2 серия – образцы с добавлением в бетон базового состава стеклобоя фракции 1,25-2,5 мм в количестве 15 % от массы цемента;
- 3 серия – образцы с добавлением в бетон базового состава мелкодисперсного стекла фракции 0,2-1,25 мм количестве 15 % от массы цемента;
- 4 серия – образцы с добавлением в бетон базового состава мелкодисперсного стекла фракции 0,08-0,2 мм количестве 15 % от массы цемента.

Всего было изготовлено и испытано 19 образцов.

Размеры образцов, технология их изготовления и испытание, а также обработка результатов выполнялись согласно требованиям стандарта ГОСТ 10180.

Для изготовления бетона базового состава применялись: цемент, песок, щебень и вода, соответствующие требованиям стандартов ГОСТ 8736-2014, 8267-93.

Качественные характеристики исходных материалов приведены в табл. 1-3.

Таблица 1. Результаты испытаний пробы песка

| Наименование показателей | Фактические величины показателей |
|--|----------------------------------|
| Модуль крупности песка, Мк | Средний 2,498 |
| Полные остатки, в %, на ситах (мм): | |
| 2,5 | 16,9 |
| 1,25 | 22,5 |
| 0,63 | 35,9 |
| 0,315 | 79,8 |
| 0,16 | 94,9 |
| < 0,16 | 100,0 |
| Насыпная плотность в естественном состоянии, кг/м ³ | 1600 |
| Влажность, % | 0 |
| Содержание глины в комках, в % по массе | 0 |
| Содержание пылевидных и глинистых частей, % | 0 |
| <i>Примечание – составлено автором</i> | |

Таблица 2. Результаты испытаний пробы щебня

| Наименование показателей | Фактические величины показателей |
|--|----------------------------------|
| Зерновой состав, полные остатки на ситах мм, в % по массе | |
| 40 | 0,0 |
| 20 | 0,0 |
| 10 | 4,4 |
| 5 | 32,8 |
| 2,5 | 44,0 |
| <2,5 | 100,0 |
| Насыпная плотность в естественном состоянии, кг/м ³ | 1640 |
| Наибольшая крупность заполнителя, мм | 10 |
| Содержание пылевидных и глинистых частей, % | 0 |
| Влажность, % | 0 |
| <i>Примечание – составлено автором</i> | |

Таблица 3. Характеристика портландцемента марки СЕМ 42,5

| Наименование показателей | Фактические величины показателей |
|---|----------------------------------|
| Прочность (активность), МПа | 43,5 |
| Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м ³ | 1210 |
| Истинная плотность, кг/м ³ | 3191 |
| Нормальная густота цементного теста | 29,7 |
| <i>Примечание – составлено автором</i> | |

Подбор базового состава бетона проводился методом абсолютных объемов согласно ГОСТ 27006-86. Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4. Состав бетонной смеси

| Наименование материала | Расход материала | |
|--|---------------------|-----------------------|
| | На 1 м ³ | На замес (6 л смеси) |
| Цемент, кг | 368 | 2,208 |
| Вода, кг | 202 | 1,212 |
| Песок, кг | 401 | 2,406 |
| Щебень, кг | 1316 | 7,896 |
| размером 5-10 мм | 526,4 | 3,1584 |
| размером 10-20 мм | 789,6 | 4,7376 |
| <i>Примечание – составлено автором</i> | | |

Расход цемента и стеклянной составляющей на один замес для каждой партии приведен в табл. 5 (*составлена автором*).

Таблица 5. Расход цемента и стеклянной составляющей

| Расход материала, кг | Наименование материала | | | |
|--|------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | Цемент | Стеклянная составляющая | | |
| | | фракция 1,25-2,5 мм | фракция 0,2-1,25 мм | фракция 0,08-0,2 мм |
| Серия 1 | 2,208 | - | - | - |
| Серия 2 | 1,877 | 0,331 | - | - |
| Серия 3 | 1,877 | - | 0,331 | - |
| Серия 4 | 1,877 | - | - | 0,331 |
| <i>Примечание – составлено автором</i> | | | | |

По полученным составам были заформованы образцы-кубы. Процесс изготовления образцов, включая вибрирование, приведен на рис. 3.

**Рисунок 3.** Заливка готовой смеси в кубические формы и уплотнение смеси на вибрационном столе

Примечание – составлено автором

Через сутки после изготовления образцы были вынуты из форм и помещены в камеру нормального твердения для набора прочности, которая в автоматическом режиме поддерживает температуру воздуха 18 ± 2 °С и влажность воздуха 90 ± 5 %. Хранение образцов в камере нормального твердения приведено на рис. 4.



Рисунок 4. Готовые образцы в камере

Примечание – составлено автором

После достижения бетоном проектного возраста (28 дней) образцы были измерены и взвешаны. Измерение образцов проводилось штангенциркулем с точностью до 0,01 мм (Рис. 5). Далее образцы-кубы испытывались на прочность при сжатии на гидравлическом прессе с максимальной грузоподъемностью 50 тонн.



Рисунок 5. Обмер готовых образцов

Примечание – составлено автором

Для проведения испытания на сжатие кубики устанавливались одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту пресса центрально относительно его продольной оси. После установки образца совмещали верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью кубика так, чтобы их плоскости полностью прилегали друг к другу. Затем образец нагружали до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки (0,6-0,2) МПа/с (Рис. 6).



Рисунок 6. Испытание образцов

Примечание – составлено автором

Результаты и их обсуждения. В процессе испытаний определялась максимальная разрушающая нагрузка на образец.

Прочность бетона R для каждого образца определялась согласно ГОСТ 10180 по формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A};$$

где: α – коэффициент перехода от образцов с ребром 100 мм к стандартным образцам, принимается 0,95, согласно ГОСТ 10180;

F – разрушающая нагрузка, полученная при испытании образцов;

A – площадь рабочего сечения образца.

Результаты испытаний образцов представлены в таблицах 6-9. Также для определения однородности бетона образцов определялась плотность бетона.

Таблица 6. Результаты испытаний образцов без содержания стекла

| № образца | Разрушающая нагрузка, кН | Прочность бетона на сжатие R , МПа | | Плотность образца, кг/м ³ |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | | кубов с ребром 100 мм | стандартных кубов | |
| 1 | 377 | 37,34 | 35,47 | 2373 |
| 2 | 380 | 37,23 | 35,37 | 2328 |
| 3 | 385 | 38,29 | 36,38 | 2399 |
| 4 | 346 | 34,83 | 33,09 | 2429 |
| 5 | 355 | 35,69 | 33,91 | 2408 |

Примечание – составлено автором

Таблица 7. Результаты испытаний прочности на сжатие бетонных кубиков размером 10×10×10 см с 15 % содержания стекла фракции 1,25-2,5 мм

| № образца | Разрушающая нагрузка, кН | Прочность бетона на сжатие R , МПа | | Плотность образца, кг/м ³ |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | | кубов с ребром 100 мм | стандартных кубов | |
| 1 | 425 | 42,79 | 40,65 | 2408 |
| 2 | 412 | 41,34 | 39,27 | 2414 |
| 3 | 460 | 45,45 | 43,18 | 2399 |
| 4 | 423 | 41,88 | 39,79 | 2399 |
| 5 | 359 | 33,83 | 32,14 | 2389 |

Примечание – составлено автором

Таблица 8. Результаты испытаний прочности на сжатие бетонных кубиков размером 10×10×10 см с 15 % содержания стекла фракции 0,2 мм-1,25 мм

| № образца | Разрушающая нагрузка, кН | Прочность бетона на сжатие R, МПа | | Плотность образца, кг/м ³ |
|-----------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | | кубов с ребром 100 мм | стандартных кубов | |
| 1 | 420 | 41,94 | 39,84 | 2431 |
| 2 | 410 | 41,12 | 39,06 | 2405 |
| 3 | 344 | 34,00 | 32,30 | 2424 |
| 4 | 420 | 42,10 | 40,00 | 2439 |

Примечание – составлено автором

Таблица 9. Результаты испытаний прочности на сжатие бетонных кубиков размером 10×10×10 см с 15% содержания стекла фракции 0,08 мм-0,2 мм

| № образца | Разрушающая нагрузка, кН | Прочность бетона на сжатие R, МПа | | Плотность образца, кг/м ³ |
|-----------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | | кубов с ребром 100 мм | стандартных кубов | |
| 1 | 388 | 38,36 | 36,44 | 2370 |
| 2 | 415 | 40,40 | 38,38 | 2387 |
| 3 | 360 | 35,43 | 33,66 | 2389 |
| 4 | 387 | 38,75 | 36,81 | 2404 |
| 5 | 374 | 37,55 | 35,67 | 2392 |

Примечание – составлено автором

По полученным единичным значениям прочности определялась фактическая прочность бетона с учетом требований стандарта ГОСТ 28570-2019. Фактическая прочность бетона приведена в табл. 10.

Таблица 10. Фактическая прочность бетона

| Серия образцов | Единичное значение прочности бетона, МПа | Среднее значение |
|---|--|------------------|
| Бетон базового состава (без добавления в бетон стеклобоя) | 35,47 | 35,28 |
| | 35,37 | |
| | 36,38 | |
| | 33,09 | |
| | 33,91 | |
| Бетон с добавлением стеклобоя фракции 1,25-2,5 мм | 40,65 | 40,72 |
| | 39,27 | |
| | 43,18 | |
| | 39,79 | |
| | 32,14 | |
| Бетон с добавлением стеклобоя фракции 0,2-1,25 мм | 39,84 | 39,6 |
| | 39,06 | |
| | 32,30 | |
| | 40,00 | |

Окончание таблицы 10

| Серия образцов | Единичное значение прочности бетона, МПа | Среднее значение |
|---|--|------------------|
| Бетон с добавлением стеклобоя фракции 0,08-0,2 мм | 36,44 | 36,83 |
| | 38,38 | |
| | 33,66 | |
| | 36,81 | |
| | 35,67 | |
| <i>Примечание – составлено автором</i> | | |

По полученным результатам построена диаграмма зависимости прочности бетона от размера вводимого стекла (Рис. 7).

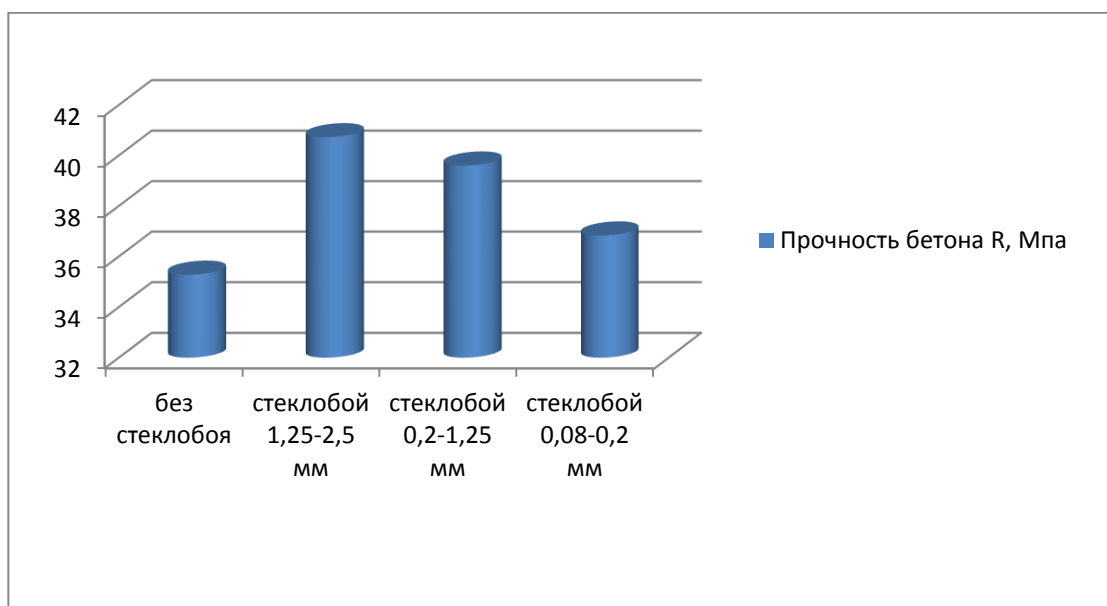


Рисунок 7. Прочность бетона с содержанием стекла разных фракций

Примечание – составлено автором

Результаты показывают, что замена цемента мелкодисперсным стеклом в количестве 15 % повышает прочность бетона, в зависимости от размера фракций. В процентном отношении результаты повышения прочности показаны в табл. 11.

Таблица 11. Повышение значения прочности в зависимости от размера фракций

| Серия образцов | Процентное повышение от контрольного образца |
|--|--|
| Бетон с добавлением стеклобоя: | |
| фракции 1,25-2,5 мм | 15,4 % |
| фракции 0,2-1,25 мм | 12,2 % |
| фракции 0,08-0,2 мм | 4,4 % |
| <i>Примечание – составлено автором</i> | |

На рисунке 8 графически показан процент повышения прочности бетона, содержащего стекло разных фракций.

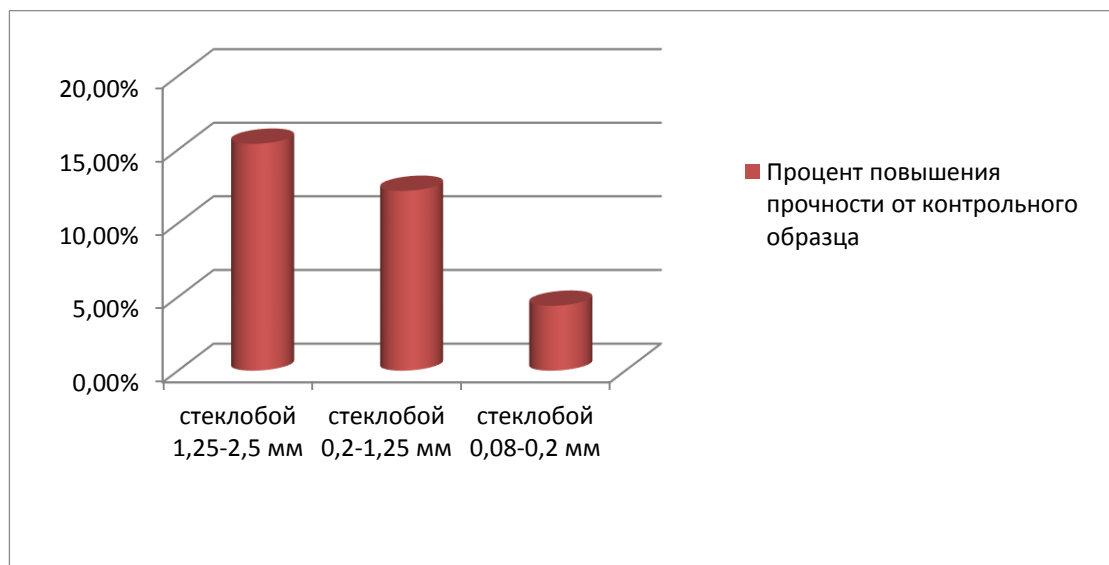


Рисунок 8. Повышение прочности бетона в зависимости от фракций

Примечание – составлено автором

Заключение. Таким образом, анализ состояния вопроса и проведенный эксперимент позволили сделать следующие выводы:

- замена части цемента мелкодисперсным стеклом позволяет не только экономить материал, но и улучшить прочностные свойства бетонной смеси;
- наибольшее повышение прочности – 15,4 % показали образцы при использовании стеклобоя размером 1,25 мм;
- использование при приготовлении бетонов стекла мелких фракций при замене цемента в количестве 15 % повышает прочность бетона (до 15,4 %) в зависимости от размера фракций стеклобоя.

Однако не надо забывать, что увеличение натрий-кальций-силикатной составляющей в составе бетона может изменить другие свойства. Большое влияние это оказывает на усадку бетона, поэтому требуется дополнительное изучение.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование выполнялось на базе Центра компетенций и трансфера технологий в области строительства НАО «ВКТУ им. Д.Серикбаева».

Список литературы

- II Sun Kim, So Yeong Choi, Eun Ik Yang (2018). Evaluation of durability of concrete substituted heavyweight waste glass as fine aggregate. *Construction and Building Materials*. – Volume 184, Pages 269-277.
- Gerry Lee, Chi Sun Poon, Yuk Lung Wong, Tung Chai Ling (2015). Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks. *Construction and Building Materials*. – Volume 38, Pages 638-643.
- Hussein Hama, Alyaa Alattar, Bassam Tayeh, Fadzil Yahaya, Blessen Thomas (2022). Effect of recycled waste glass on the properties of high-performance concrete: A critical review. *Case Studies in Construction Materials*. – Volume 17.

- Khondaker Sakil Ahmed, Lutfar Rahman Rana (2023). Fresh and hardened properties of concrete containing recycled waste glass: A review. *Journal of Building Engineering*. – Volume 70.
- S. Arivalagan, V.S Sethuraman (2021). Experimental study on the mechanical properties of concrete by partial replacement of glass powder as fine aggregate: An environmental friendly approach. *Materialstoday: Proceedings*. – Volume 45, Part 7. – Pp. 6035-6041.
- Weisong Yin, Xinping Li, Youzhi Chen, Yifei Wang, Mingnan Xu, Chenhao Pei (2023). Mechanical and rheological properties of High-Performance concrete incorporating waste glass as cementitious material and fine aggregate. *Construction and Building Materials*. – Volume 387.
- Алтынова А.Е., Айдарова Н.А., Саркенов Б.Б. (2015). Исследование и разработка технологии получения бетона с использованием переработанных отходов стекла // Современные научные исследования и инновации. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745>. – № 4. Ч. 2 // Altynova A.E., Ajdarova N.A., Sarkenov B.B. (2015). Issledovanie i razrabotka tekhnologii polucheniya betona s ispol'zovaniem pererabotannyh othodov stekla // Sovremennyye nauchnye issledovaniya i innovacii. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745>. – № 4. Ч. 2.
- В Казахстане накоплено более 30 миллиардов тонн отходов производства. *Forbes.kz*. (2021). –URL: https://forbes.kz/process/ecobusiness/v_kazahstane_nakopleno_bolee_30_milliardov_tonn_othodov_proizvodstva/ // V Kazahstane nakopleno bolee 30 milliardov tonn othodov proizvodstva. *Forbes.kz*. (2021). – URL:https://forbes.kz/process/ecobusiness/v_kazahstane_nakopleno_bolee_30_milliardov_tonn_othodov_proizvodstva/.
- ГОСТ EN 572-1-2016. Стекло натрий-кальций-силикатное. Основные характеристики. – Москва, Стандартинформ (2017) // GOST EN 572-1-2016. Steklo natrij-kal'cij-silikatnoe. Osnovnyye karakteristiki. – Moskva, Standartinform, (2017).
- ГОСТ 28570-2019 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Москва, Стандартинформ, (2019) // GOST 28570-2019 Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyum obrazcam. – Moskva, Standartinform, (2019).
- ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Москва, Стандартинформ, (2019) // GOST 8736-2014 Pesok dlya stroitel'nyh rabot. Moskva, Standartinform, (2019).
- ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. – Москва, Стандартинформ, (2018) // GOST 8267-93 SHChHeben' i gravij iz plotnyh gornyh porod dlya stroitel'nyh rabot. – Moskva, Standartinform, (2018).
- ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора состава. – Москва, Стандартинформ, (2019) // GOST 27006-2019 Betony. Pravila podbora sostava. – Moskva, Standartinform, (2019).
- Иванко М.В. (2017). Применение отходов стекла в производстве строительных материалов / М.В. Иванко, В.Н. Шишканова // Фундаментальные и прикладные научные исследования: Материалы международной научно-практической конф. Отв. ред. Зарайский А.А. – Москва: Издательство ЦППМ «Академия Бизнеса». – 214 с. // Ivanko M.V. (2017). Primenenie othodov stekla v proizvodstve stroitel'nyh materialov / M.V. Ivanko, V.N. SHishkanova // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konf. Otв. red. Zarajskij A.A. – Moskva: Izdatel'stvo CPM «Akademiya Biznesa», 214 s.
- Минько Н.И., Калатоzi В.В. (2018). Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 1 // Min'ko N.I., Kalatozi V.V. (2018). Ispol'zovanie stekloboya v tekhnologii materialov stroitel'nogo naznacheniya // Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova, №1.

Information about authors

Baizakova Gulmira Abylgazinovna – East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, GBaizakova@edu.ektu.kz

Rudenko Olga Vladimirovna – C.t.s., East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, ORudenko@edu.ektu.kz

Anop Darya Kamilyevna – c.t.s., East Kazakhstan Technical university named after D. Serikbayev, the city of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, danop@edu.ektu.kz

Gerasimov Evgeny Petrovich – Candidate of Technical Sciences, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A.D. Kryachkov, Novosibirsk, Russia. EPGerasimov@nsuada.ru

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_253
MPHTI 67.01.05

Д.С. Догадкин¹, В.Ф. Шевляков², Д.И. Қалиев³, Н.Ф. Денисова⁴, И.В. Денисов⁵
Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

¹E-mail: DDogadkin@ektu.kz*

²E-mail: shevlyakovvf08@mail.ru

³E-mail: daniyar.1996.samarka@gmail.com

⁴E-mail: NDenisova@edu.ektu.kz

⁵E-mail: apraximacia@mail.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ
АВТОНОМНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛАВИНООПАСНЫХ УЧАСТКОВ
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ КӨШКІН ҚАУПІ БАР УЧАСКЕЛЕРДІҢ
МОНИТОРИНГІ ҮШІН АВТОНОМДЫ СТАНЦИЯНЫҢ ТІРЕК КОНСТРУКЦИЯСЫН
ТАҢДАУДЫҢ НЕГІЗДЕМЕСІ**

**JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE SUPPORTING STRUCTURE
OF AN AUTONOMOUS STATION FOR MONITORING AVALANCHE-PRONE
AREAS OF THE EAST KAZAKHSTAN REGION**

Аннотация. Существующие в настоящее время в Восточно-Казахстанской области (далее ВКО) способы наблюдения за снежными горными лавинами не дают своевременной и полной картины накопления и момента схода снежных масс. Для решения данной проблемы в Восточно-Казахстанском техническом университете имени Д. Серикбаева разрабатывается современная автоматизированная система мониторинга лавиноопасных участков ВКО. Она предполагает дистанционное наблюдение за накоплением снежных масс с помощью приборов, установленных на несущих конструкциях непосредственно на лавиноопасных участках. Для установки такой конструкции необходимо решить вопрос выбора типа конструкции и материала, из которого она изготавливается. Для решения этой задачи были рассмотрены Своды Правил Республики Казахстан и предлагаемые на рынке металлоконструкций изделия, применяемые для установки и эксплуатации телекоммуникационного оборудования и оборудования сотовой радиотелефонной связи, для метеорологических систем и наблюдений, для антенных сооружений и т.д. В статье приведены нормативные параметры воздействий на территории ВКО (ветровые, снеговые, гололедные и т.д.), по которым подбираются или проектируются несущие конструкции, рассмотрены конструкции мачт, рекомендуемые нормами РК, а также выполнено сравнение конструкций, представленных заводами-производителями металлоконструкций на рынке.

Ключевые слова: несущая конструкция, мачта, лавины, мониторинг, наблюдение.

Аңдатпа. Қазіргі уақытта Шығыс Қазақстан облысында қар көшкінін бақылаудың қолданыстағы әдістері қар массаларының түсу және жиналу сәтінің уақытылы және толық бейнесін бермейді. Бұл мәселені шешу үшін Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінде ШҚО көшкін қаупі бар учаскелерінің мониторингінің заманауи автоматтандырылған жүйесі әзірленуде. Ол қар көшкіні қаупі бар учаскелерде тірек конструкцияларына орнатылған аспаптардың көмегімен қар массаларының жиналуын қашықтықтан бақылауды көздейді. Мұндай конструкцияны орнату үшін конструкцияның түрі мен жасайтын материалды таңдау мәселесін шешу қажет. Бұл міндетті шешу үшін Қазақстан Республикасының Ережелер жинақтары және телекоммуникациялық жабдықтары мен ұялы радиотелефон байланысы жабдықтарын орнату және пайдалану, метеорологиялық жүйелер мен бақылаулар, антенна құрылыстары және басқалары үшін қолданылатын металл конструкциялар нарығында ұсынылатын бұйымдар зерделенді. Мақалада тірек конструкциялары таңдалынып немесе

жобаланатын ШҚО аумағындағы (жел, қар, көктайғақ және басқалары) әсер етудің нормативтік параметрлері келтірілген, ҚР нормалары ұсынаған мачталардың конструкциялары қарастырылды, сондай-ақ нарықтағы металл конструкцияларын өндіруші-зауыттар ұсынаған конструкцияларды салыстыру жүргізілді.

Түйін сөздер: тірек конструкциясы, мачта, қар көшкіні, мониторинг, бақылау.

Annotation. Currently existing methods of observing snow avalanches in the East Kazakhstan region do not provide a timely and complete picture of the accumulation and moment of snowfall. To solve this problem, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University is developing a modern automated monitoring system for avalanche-prone areas of East Kazakhstan region. It involves remote monitoring of the accumulation of snow masses using devices mounted on load-bearing structures directly on avalanche-prone areas. To install such a structure, it is necessary to decide on the choice of the type of structure and the material from which it is made. To solve this problem, the Codes of Rules of the Republic of Kazakhstan and products offered on the metal structures market used for the installation and operation of telecommunications equipment and cellular radiotelephone communication equipment, for meteorological systems and observations, for antenna structures, etc. were considered. The article presents the normative parameters of impacts on the territory of East Kazakhstan region (wind, snow, ice, etc.), according to which load-bearing structures are selected or designed, mast structures recommended by the norms of the Republic of Kazakhstan are considered, and a comparison of structures presented by manufacturers of metal structures on the market is performed.

Keywords: load-bearing structure, mast, avalanches, monitoring, surveillance.

Введение. В Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан имеется более 450 лавиноопасных участков, на которых каждый зимний период происходит сход снежных лавин, закрывающих дороги и угрожающих зданиям, сооружениям и населению. Для своевременного предупреждения о возможности схода лавин применяются различные способы мониторинга. Одним из способов является наблюдение за поведением лавиноопасных участков с помощью приборов, установленных на специальные несущие конструкции. В качестве таких конструкций используются различные мачты.

Конструкция мачты определяется следующими факторами:

- приборами, устанавливаемыми на мачту;
- пространством обзора, необходимым для работы приборов;
- рельефом местности (в т.ч. шероховатость поверхности и орография) и местом установки мачты;
- климатическими и геофизическими воздействиями;
- материалом мачты;
- грунтами и возможностью возведения;
- сроком эксплуатации.

Постоянными определяющими факторами для любой конструкции мачты, устанавливаемой в определённом районе местности, являются: снеговые воздействия, ветровые воздействия, температурные воздействия, гололёдные воздействия, сейсмические воздействия. Величины воздействий принимаются по строительным нормам Республики Казахстан: Сводам Правил РК, разработанным на основе европейских стандартов, и Национальным Приложениям, которые являются неотъемлемой частью сводов правил.

Материалы и методы. Снеговые воздействия (нагрузки), применяемые для расчёта сооружений и зданий в Республике Казахстан, приведены в Своде Правил (КазНИИСА, 2016а) и Национальном Приложении (КазНИИСА, 2016б). Характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт S_k , определяемое с годовой вероятностью превышения 0,02, необходимо принимать по карте 4 – «Районирование территории РК по снеговому грузам на грунт» (КазНИИСА, 2016б). Из карты 4 следует, что на территории ВКО расположены несколько снеговых районов с разными снеговыми нагрузками, а именно:

I снеговой район (0,8 кПа) – полоса вокруг озера Зайсан и Чёрного Иртыша;

III снеговой район (1,5 кПа) – полоса западнее Шемонаихи, Усть-Каменогорска, севернее Курчума до полосы V и выше районов у границы с Россией и Китаем;

IV снеговой район (1,8 кПа) – восточнее Усть-Каменогорска, вокруг района Калбинского хребта;

V снеговой район (2,4 кПа) – Калбинский хребет, Тарбагатай;

VI снеговой район и выше (3,2 кПа и выше) – полоса западнее Шемонаихи по границе до Теректы (Алексеевка).

Данные по снеговой нагрузке для снеговых районов выше VI уточняются в Казгидромете. Эти районы считаются малоизученными.

Свод Правил (КазНИИСА, 2016с) и Национальное приложение (КазНИИСА, 2016d) разрешают основываться при проектировании сооружений на комбинации результатов расчёта и испытаний, выполненных аккредитованными организациями. Расчётное значение снеговой нагрузки при учёте её в качестве одной временной нагрузки определяется умножением характеристического значения на частный коэффициент, равный 1,5. Так, расчётная снеговая нагрузка (кПа) на грунт для города Усть-Каменогорска (III снеговой район) $S = \gamma_{Q1} Q_{k1} = 1,5 * 1,5 = 2,25$ кПа (225 кгс/м²). Для площадок, расположенных на территории ВКО на высоте более 1500 м, снеговые нагрузки следует принимать по картам 7, 8, 9 – «Районирование территории РК (включая горные районы) по климатическим зонам, связывающим высотное положение местности и снеговую нагрузку» (КазНИИСА, 2016b).

Снеговая нагрузка может учитываться как чрезвычайная. Расчётное значение чрезвычайной снеговой нагрузки на грунт принимается по карте 5 – «Районирование территории РК по чрезвычайным снеговым нагрузкам на грунт (в результате снегопада с исключительно низкой вероятностью)» (КазНИИСА, 2016b). Снеговые районы и величины снеговой чрезвычайной нагрузки для территории ВКО следующие:

I снеговой район (1,6 кПа) – полоса вокруг озера Зайсан и Чёрного Иртыша.

III снеговой район (3,0 кПа) – полоса западнее Шемонаихи, Усть-Каменогорска, севернее Курчума до полосы V и выше районов у границы с Россией и Китаем.

IV снеговой район (3,6 кПа) – восточнее Усть-Каменогорска, вокруг района Калбинского хребта.

V снеговой район (4,8 кПа) – Калбинский хребет, Тарбагатай.

VI снеговой район и выше (6,4 кПа и выше) – полоса западнее Шемонаихи по границе до Теректы (Алексеевка).

Снеговые нагрузки для площадок, расположенных на территории Республики Казахстан, и в том числе ВКО, на высоте более 1500 м, следует принимать по картам 7, 8, 9 – «Районирование территории РК (включая горные районы)» (КазНИИСА, 2016b). Высотные отметки более 1500 м имеет горная местность, расположенная в ВКО, восточнее городов Риддер, Алтай, в районе озера Маркаколь, Тарбагатайских гор до границы РК.

Снеговое воздействие создает незначительную вертикальную нагрузку на мачту из-за её небольших размеров в плане. Значительную горизонтальную снеговую нагрузку мачта будет испытывать в случае, если она будет расположена на площади движущейся лавины. Нормы (КазНИИСА, 2016a) рекомендуют применять средний объёмный вес (в кН/м³) снега в зависимости от срока после выпадения и влажности: свежий – 1,0; осевший (через несколько часов после выпадения) – 2,0; старый (через несколько недель или месяцев после выпадения) – 2,5 – 3,5; влажный – 4,0.

Для антенно-мачтовых устройств следует учитывать гололёдные нагрузки (КазНИИСА, 2016e, КазНИИСА, 2016f). Национальное приложение РК (КазНИИСА, 2016f) предлагает принимать районы по гололёдной нагрузке по карте 4 приложения 5 СНиП 2.03.07-85*. В ВКО расположены следующие районы по толщине стенки гололёда:

III – практически по всей территории области;

IV – вокруг озера Маркаколь и у подножия Тарбагатайских гор;

V – в Тарбагатайских горах выше района IV до границы РК с Китаем.

Горные и малоизученные районы – небольшой участок возле озера Маркаколь за районом IV у границы с Россией.

В V районе, горных и малоизученных районах, а также в сильнопересечённых местностях (на вершинах гор и холмов, на перевалах, на высоких насыпях, в закрытых горных долинах, котлованах, глубоких выемках и т.п.) толщину стенки гололёда необходимо определять по (КазНИИСА, 2016d) на основании данных специальных обследований и наблюдений. Толщина стенки гололёда для мачт при определении нормативной гололёдной нагрузки в нормах (КазНИИСА, 2016e) для районов, расположенных в ВКО, принимается: III – 10 мм, IV – 15 мм, V – не менее 20 мм.

В редакции ПУЭ (правила устройства электроустановок) разработана карта районирования территории Республики Казахстан по толщине стенки гололеда с обеспеченностью 4 %, составленная по материалам наблюдений за период 1971-2011 гг. (Елеуова и др., 2016). Из карты следует, что в ВКО по состоянию на 2011 год установлены следующие районы по гололёду:

II – полоса от границы ВКО до Усть-Каменогорска (до левого берега Иртыша) и до III района вокруг Калбинского хребта, полоса вокруг озера Зайсан, Бухтарминского водохранилища и Чёрного Иртыша (выделена цветом, но не обозначена цифрой), проходящая на севере через Улкен Нарын в сторону Риддера;

III – полоса, расположенная между полосами II, подходящими с востока и запада, проходящая от Аягоза через Калбинский хребет и Иртыш до границы с Россией в районе Шемонаихи и возле Риддера. Полосы в переходе от районов V (Риддер) и V (Маркаколь) вокруг полосы II до границы с Россией;

IV – участок в районе гор Тарбагатая;

V – участки: вокруг Риддера до границы с Россией; вокруг озера Маркаколь от села Теректы (Алексеевка) по границе почти до половины расстояния между Теректы и Риддером; вокруг центра Калбинского хребта.

Участки V со знаками (звёздочки) – горные малодоступные районы.

Согласно карте ПУЭ нормативное значение толщины стенки гололеда следует принимать в зависимости от гололедного района по данным табл. 1.

Таблица 1. Нормативная толщина стенки гололеда для высоты 10 м
(повторяемость 1 раз в 25 лет)

| Район по гололёду | Толщина стенки, мм |
|-------------------|--------------------|
| II | 15 |
| III | 20 |
| IV | 25 |
| V (особый) | >30 |

Примечание – составлено авторами на основе (Елеуова и др., 2016)

Ветровые воздействия одни из основных воздействий, учитываемых при разработке конструкции мачты. Воздействия создают одну из значительных горизонтальных нагрузок, действующих на мачту. Расчётное ветровое давление, а затем и ветровая нагрузка определяются по базовой скорости ветра (НП.4 (КазНИИСА, 2016h) к СП РК EN1991-1-4 (КазНИИСА, 2016g). Приложение. Карта. Районирование территории РК по базовой скорости ветра с вероятностью 0,02). Влияние высоты над уровнем моря на базовую скорость ветра не учитывается.

Базовая скорость ветра (м/с) и давление ветра (кПа) для ветровых районов, располагаемых на территории ВКО, следующая:

– восточнее от побережья Бухтарминского водохранилища и границ районов Шемонаиха-Улкен Нарын-Куршим до границы с Россией и Китаем – IV ветровой район, 35 м/с; 0,77 кПа;

– западнее от побережья до границ с другими областями РК, а также южнее озера Зайсан до границы с Китаем – III ветровой район, 30 м/с; 0,56 кПа;

– в районе озера Маркаколь – X ветровой район (горный район, данные уточняются в Казгидромете);

– в районе Тарбагатайских гор у границы с Китаем – XI ветровой район (горный район, данные уточняются в Казгидромете).

Переход от давления ветра (q_p) к давлению на поверхность конструкции (W_e) и к расчётной ветровой нагрузке на конструкцию (F_d) осуществляется с помощью коэффициентов $C_e(z)$, C_{pe} , $C_s C_d = 1$ и частного коэффициента $\gamma_f = \gamma_{Q1} = 1,5$. Для IV ветрового района расчётное ветровое давление будет равно $g = 0,77 \text{ кПа} * 1,5 = 1,155 \text{ кПа}$, что соответствует скорости ветра 52,5 м/с.

Сооружения рассчитываются на сейсмические воздействия при особом сочетании нагрузок, включающих сейсмическую нагрузку. При этом температурные климатические воздействия, ветровые нагрузки, динамические воздействия от оборудования и транспорта, тормозные и боковые усилия от движения кранов не учитываются.

В СП РК 2.03-30-2017 (КазНИИСА, 2017а) имеются карты общего сейсмического зонирования (ОСЗ) (районирования) РК с пиковыми ускорениями грунтов в единицах g (ОСЗ-1₄₇₅ и ОСЗ-1₂₄₇₅) и в баллах макросейсмической шкалы интенсивности MSK-64(K) (ОСЗ-2₄₇₅ и ОСЗ-2₂₄₇₅), а также «Список населенных пунктов Республики Казахстан, расположенных в сейсмических зонах, с указанием сейсмической опасности их территорий в баллах и ускорениях». Для ВКО в списке приведены баллы 6, 7, 8, 9, 9*. Для строительства зданий и сооружений в зонах (районах) с балльностью до 6 баллов включительно их расчёт на сейсмические воздействия и специальные антисейсмические мероприятия не выполняются (за исключением грунтов III типа). Для строительства зданий и сооружений в зонах (районах) с балльностью 7, 8, 9, 9* баллов расчёт на сейсмические воздействия необходим. Населенные пункты, находящиеся в зонах возможного возникновения очагов землетрясений (зонах ВОЗ) с магнитудами 7.1 и более, отмечены значком (*) возле цифры балла, установленного для территории населённого пункта. Землетрясения с такими магнитудами могут вызвать на поверхности земли остаточные деформации, разрушительные эффекты типа обвалов, оползней и селей. Существуют в РК карты микрозонирования (микрорайонирования), в которых зонирование в баллах выполнено для территорий отдельных городов и посёлков.

В ВКО балльность сейсмического района (зоны) увеличивается с запада на восток и юг в стороны границ РК и гор. Сейсмичность районов на территории ВКО меняется по карте ОСЗ-2₄₇₅ от 6 до 8 баллов, а по карте ОСЗ-3₂₄₇₅ от 6 до 9 баллов. В Усть-Каменогорске сейсмичность зоны (района) равна 7 баллов. Сейсмичность площадки, на которой строится здание или сооружение, принимается с учётом типа грунтовых условий и может составлять при слабых грунтах на 1 балл выше.

Среди климатических параметров наибольшее влияние на металлическую конструкцию мачты оказывают отрицательная температура, вызывающая разрушение металла, и влажность, создающая коррозию металла. Для защиты против коррозии на металл наносят антикоррозийные покрытия. Для возможности эксплуатации мачты при отрицательных температурах выбирается соответствующая марка стали. Температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,98 и 0,92, по которой принимается марка стали, согласно нормам (КазНИИСА, 2017б), для населённых пунктов ВКО

следующая: Зайсан – $-38,6$ °С и $-35,2$ °С; Катон-Карагай – $-32,9$ °С и $-29,9$ °С; Усть-Каменогорск – $-40,7$ °С и $-37,3$ °С; Шемонаиха – $-41,9$ °С и $-37,3$ °С. Температура наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98 и 0,92 в населённых пунктах ВКО по нормам (КазНИИСА, 2017b) равна: Зайсан – $-39,6$ °С и $-37,0$ °С; Катон-Карагай – $-36,1$ °С и $-34,9$ °С; Усть-Каменогорск – $-43,7$ °С и $-40,2$ °С; Шемонаиха – $-44,6$ °С и $-41,9$ °С.

В соответствии со стандартом (КазНИИСА, 2016i) металл конструкции должен иметь достаточную ударную вязкость, чтобы исключить хрупкое разрушение растянутых элементов при самой низкой температуре, появляющейся за весь расчётный срок эксплуатации сооружения. Для мачт требования по ударной вязкости должны применяться в соответствии с нормами (КазНИИСА, 2016k; КазНИИСА, 2016l). Для сжатых элементов требования по ударной вязкости снижаются. При этом температура испытания образцов из отечественных сталей назначается в соответствии с требованиями стандартов РК (КазНИИСА, 2016e; КазНИИСА, 2016j). В Национальном Приложении (КазНИИСА, 2016j) приведены данные по ударной вязкости проката. Определение расчетной низкой температуры указано в Национальном Приложении (КазНИИСА, 2016j). За расчетную температуру наружного воздуха принимается (КазНИИСА, 2016j) температура воздуха наиболее холодных суток, определяемая по картам районирования территории России в СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия», Приложение 5, районирование по среднемесячной температуре воздуха в январе и районирование по отклонению средней температуры воздуха наиболее холодных суток от среднемесячной температуры в январе. Среднемесячная январская температура (карта 5) и отклонение от неё средней месячной температуры наиболее холодных суток для территории ВКО составляют: полоса восточнее города Алтай и вокруг озера Маркаколь, полоса Тарбагатайских гор у границы с Китаем – -30 °С и по отклонению отмечены цветом, как горные и малоизученные районы; полоса у границы с Китаем, проходящая от полосы в горах Тарбагатай до полосы у озера Маркаколь, пересекающая Чёрный Иртыш – -20 °С и отклонение 15 °С (окончательно -35 °С); от западной границы ВКО до полос с температурой -30 °С и -20 °С среднемесячная температура -15 °С и отклонения в южной части полосы 15 °С (окончательно -30 °С), в Усть-Каменогорске и до северной границы отклонение 20 °С (окончательно -35 °С). Таким образом, принимая расчетную отрицательную температуру в месте установки мачты, подбирается конструкция и материал для мачты с учётом норм (КазНИИСА, 2016i; КазНИИСА, 2016j; КазНИИСА, 2016k; КазНИИСА, 2016l; КазНИИСА, 2016m).

С учётом перечисленных факторов подбирается конструкция мачты для заказа предприятиям-поставщикам или разрабатывается проект мачты, которая изготавливается соответствующими предприятиями-изготовителями.

Нормы (КазНИИСА, 2016e) подразделяют сооружения для размещения и эксплуатации телекоммуникационного оборудования и оборудования сотовой радиотелефонной связи, для метеорологических систем и наблюдений (Компания «Пеленг», н.д.), для антенных сооружений (ТОО АСПМК-519, н.д.), для освещения, для линий электропередач на мачты и башни, которые еще называют опорами (опоры ЛЭП). Башня (опора) – свободно стоящая консольная стальная решетчатая конструкция. Мачты имеют ствол по типу башен и оттяжки, удерживающие ствол от поворота относительно фундамента. Чаще всего башни (опоры) устанавливают большей высоты и под большие нагрузки, чем мачты.

Стволы мачт представляют собой трубную (вертикальная труба) или решетчатую (пространственная ферма) конструкцию (рис. 1). По нормам (КазНИИСА, 2016e) для элементов мачт и башен применяется классификация сечений по стандарту (КазНИИСА,

2016j). Для мачт в основном применяются круглые сечения (трубы стволов), а также трубы или уголки для элементов решетчатых мачт. Поперечные сечения решетчатых мачт выполняют треугольными или квадратными. Материал стволов мачт – сталь или алюминий, оттяжек – канаты (троса). Стволы мачт могут быть телескопическими (выдвижными из нижней секции) и секционными, когда секции высотой 2-3 метра соединяются при монтаже с помощью фланцевых соединений. Секции ферм выполняют на болтах или сварными. Материал канатов оттяжек принимают по нормам (КазНИИСА, 2016m; КазНИИСА, 2016n). Мачты, на которые устанавливается аппаратура с поверхности земли, оборудуются поворотной частью для опускания приборов и их технического обслуживания. Наличие на одной из граней решетчатой ферменной мачты ступеней позволяет использовать ствол мачты, как лестницу, для подъема аппаратуры или технического обслуживания на высоте. Оттяжки предотвращают горизонтальное перемещение мачты, закреплением их на отдельных ярусах и устройством закапываемых или забивных якорей, служащих фундаментами.



Рисунок 1. Типы мачт: слева – трубная; справа – ферменная конструкция

Примечание – составлено автором

Результаты исследований. По данным исследований условий мониторинга лавиноопасных участков ВКО принято решение по установке мачт высотой 6-9 метров. Максимальная вертикальная нагрузка на мачту от оборудования, устанавливаемого наверху мачты, составляет в пределах 40-50 кг, нагрузка от техперсонала 150 кг. Мачты для мониторинга снежных лавин, в отличие от других мачт, устанавливаемых на участках, имеющих свободный доступ техники, устанавливаются на горных склонах, что создает определенные трудности в доставке и монтаже конструкции. Поэтому принимаются мачты секционной сборки.

Достоинства ферменной конструкции мачты:

- секционная конструкция позволяет сократить количество сборочных операций;
- секции разной длины позволяют добиться необходимой высоты мачты;
- установка таких конструкций не требует использования дорогостоящей спецтехники;
- монтаж осуществляется вручную (установка секции одну на другую с помощью ручного подъемника);

– не требуется выполнение работ на высоте, количество специалистов на монтаж минимальное.

Выбор типа конструкции для мачты системы мониторинга лавин зависит от методики прогнозирования схода лавин (измеряемых величин и необходимого оборудования).

Основные причины для выбора ферменной конструкции:

– прочность и устойчивость: ферменные конструкции известны своей прочностью и способностью выдерживать экстремальные погодные условия, такие как сильные ветра, снеговые нагрузки и температурные колебания, что крайне важно в горных условиях;

– легкость конструкции: фермы обычно легче полнотелых столбов, что упрощает их транспортировку и установку в удаленных или труднодоступных горных районах;

– модульность и адаптируемость: ферменные мачты могут быть разработаны таким образом, чтобы быть модульными и легко адаптируемыми под различные виды оборудования для мониторинга, включая камеры, датчики движения, метеорологические приборы и т.д.;

– экономическая эффективность: ферменные конструкции часто более экономичны в производстве и установке по сравнению с другими типами мачт, что делает их выбор предпочтительным, особенно при ограниченном бюджете;

– хорошая аэродинамика: ферменные конструкции обычно имеют меньшее сопротивление ветру, что уменьшает риск их повреждения или опрокидывания во время сильных ветров или бурь.

Заключение. В целом, ферменная конструкция является оптимальным выбором для мониторинговой мачты схода лавин, учитывая ее прочность, устойчивость к экстремальным погодным условиям, а также гибкость в использовании различного оборудования для мониторинга.

Для III районов по ветровым, снеговым, гололёдным нагрузкам, расположенных на территории ВКО, может быть принята алюминиевая (материал АМГ5н) трехгранная (пространственная ферма) секционная мачта модели СТ-А3Т с эксплуатационными пределами по температуре от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и по максимальной нагрузке 400 кг. Длина секции составляет 3 метра, длина ребра секции – 400 мм. Мачта имеет блок-подъемник для подъема аппаратуры. Три оттяжки устанавливаются в углах треугольного поперечного сечения мачты и располагаются равномерно через 120° . Радиус оттяжек составляет 3,6 м. Для других районов конструкции мачт будут согласовываться с изготовителями.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. В статье представлены результаты научных исследований, полученные в ходе реализации научно-технической программы на тему: «Исследование лавинной активности в Восточно-Казахстанской области для разработки систем мониторинга и научного обоснования их размещения» (ПЦФ BR21882022) в рамках программно-целевого финансирования.

Список литературы

- КазНИИСА. (2016а). Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки (СП РК EN 1991-1-3:2004/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016а). Vozdejstviya na nesushchie konstrukcii. CHast' 1-3. Obshchie vozdejstviya. Snegovye nagruzki (SP RK EN 1991-1-3:2004/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016б). Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки (НП к СП РК EN 1991-1-3:2003/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан // KazNIISA. (2016b). Vozdejstviya na nesushchie konstrukcii. CHast' 1-3. Obshchie vozdejstviya. Snegovye nagruzki (NP k SP RK EN 1991-1-3:2003/2011). Komitet po delam stroitel'stva

- i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016с). Основы проектирования несущих конструкций (СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016с). Osnovy proektirovaniya nesushchih konstrukcij (SP RK EN 1990:2002+A1:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016d). Основы проектирования несущих конструкций (НП к СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016d). Osnovy proektirovaniya nesushchih konstrukcij (NP k SP RK EN 1990:2002+A1:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016е). Проектирование стальных конструкций. Часть 3-1. Башни, мачты и дымовые трубы: башни и мачты (СП РК EN 1993-3-1:2006/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан // KazNIISA. (2016е). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 3-1. Bashni, machty i dymovye truby: bashni i machty (SP RK EN 1993-3-1:2006/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016f). Проектирование стальных конструкций. Часть 3-1. Башни, мачты и дымовые трубы: башни и мачты (НП к СП РК EN 1993-3-1:2006/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016f). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 3-1. Bashni, machty i dymovye truby: bashni i machty (NP k SP RK EN 1993-3-1:2006/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- Елеуова, К.Т., Баймагамбетов, Б.О., Болатов, К.М., Болатова, А.А. (2016). Районирование территории Казахстана по толщине стенки гололеда. Гидрометеорология и экология, №3, 7-18 // Eleuova, K.T., Bajmagambetov, B.O., Bolatov, K.M., Bolatova, A.A. (2016). Rajonirovanie territorii Kazahstana po tolshchine stenki gololeda. Gidrometeorologiya i ekologiya, №3, 7-18.
- КазНИИСА. (2016g). Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия (СП РК EN 1991-1-4:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан // KazNIISA. (2016g). Vozdejstviya na nesushchie konstrukcii. CHast' 1-4. Obshchie vozdejstviya. Vetrovye vozdejstviya (SP RK EN 1991-1-4:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016h). Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия (НП к СП РК EN 1991-1-4:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан // KazNIISA. (2016g). Vozdejstviya na nesushchie konstrukcii. CHast' 1-4. Obshchie vozdejstviya. Vetrovye vozdejstviya (NP k SP RK EN 1991-1-4:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2017а). Строительство в сейсмических зонах (СП РК 2.03-30-2017). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2017а). Stroitel'stvo v sejsmicheskikh zonah (SP RK 2.03-30-2017). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2017b). Строительная климатология (СП РК 2.04-01-2017). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан // KazNIISA. (2017b). Stroitel'naya klimatologiya (SP RK 2.04-01-2017). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016i). Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий (СП РК EN 1993-1-1:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016i). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy (SP RK EN 1993-1-1:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016j). Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила

- для зданий (НП к СП РК EN 1993-1-1:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016j). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy (NP k SP RK EN 1993-1-1:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016k). Проектирование стальных конструкций. Часть 1-10. Ударная вязкость материала и прочностные свойства в направлении толщины проката (СП РК EN 1993-1-10:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016k). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 1-10. Udarnaya vyazkost' materiala i prochnostnye svojstva v napravlenii tolshchiny prokata (SP RK EN 1993-1-10:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016l). Проектирование стальных конструкций. Часть 1-10. Ударная вязкость материала и прочностные свойства в направлении толщины проката (НП к СП РК EN 1993-1-10:2005/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016l). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 1-10. Udarnaya vyazkost' materiala i prochnostnye svojstva v napravlenii tolshchiny prokata (NP k SP RK EN 1993-1-10:2005/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016m). Проектирование стальных конструкций. Часть 1-11. Проектирование конструкций со стальными элементами, работающими на растяжение (СП РК EN 1993-1-11:2006/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан // KazNIISA. (2016m). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 1-11. Proektirovanie konstrukcij so stal'nymi elementami, rabotayushchimi na rastyazhenie (SP RK EN 1993-1-11:2006/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- КазНИИСА. (2016n). Проектирование стальных конструкций. Часть 1-11. Проектирование конструкций со стальными элементами, работающими на растяжение (НП к СП РК EN 1993-1-11:2006/2011). Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан. // KazNIISA. (2016n). Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. CHast' 1-11. Proektirovanie konstrukcij so stal'nymi elementami, rabotayushchimi na rastyazhenie (NP k SP RK EN 1993-1-11:2006/2011). Komitet po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Ministerstva natsional'noi ehkonomiki Respubliki Kazakhstan.
- Компания «Пеленг». (н.д.). Метеорологические системы и оборудование. <https://peleng.by/products/meteorology>. // Kompaniya «Peleng». (n.d.). Meteorologicheskie sistemy i oborudovanie. <https://peleng.by/products/meteorology>.
- ТОО АСПМК-519. (н.д.). Каталог продукции. Антенно-мачтовые сооружения. https://aspmk-519.kz/images/katalogs/catalogs_amsru2016.pdf. // TOO ASPMK-519. (n.d.). Katalog produkci. Antenno-machtovye sooruzheniya. https://aspmk-519.kz/images/katalogs/catalogs_amsru2016.pdf.

Information about authors

D. Dogadkin – D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: DDogadkin@ektu.kz +7(705)2502300

V. Shevlyakov – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: shevlyakovvf08@mail.ru

D. Kaliyev – D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: daniyar.1996.samarka@gmail.com

N. Denisova – Candidate of Physics-mathematical Sciences, D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: NDenisova@edu.ektu.kz

I. Denisov – D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: aproximacia@mail.ru

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_263
MFTAA 67.29.03

С.К. Есенгабулов¹, Е.Б. Жаркенов², М.С. Кожамет³,
М.Н. Нұрбаева⁴, А.Е. Джексембаева⁵

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

¹E-mail: serik-y@mail.ru*

²E-mail: berdenovich@gmail.com

³E-mail: meiram_kms@mail.ru4

⁴E-mail: marzhan_nurbaeva@mail.ru

⁵E-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru

КИИЗ ҮЙ ТӘРИЗДІ ЖӘНЕ ШАРШЫ ПІШІНДЕС ҒИМАРАТТАРДЫҢ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІККЕ ӘСЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЮРТОПОДОБНЫХ И КВАДРАТНЫХ ЗДАНИЙ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMPACT OF YURT-LIKE AND SQUARE BUILDINGS ON ENERGY EFFICIENCY

Аңдатпа. Энергия үнемдеу талаптарын қамтамасыз ету мақсатында экстрималды климаттық өңірлердегі ғимараттардың энергия тиімділігін арттыру үшін олардың үлесіне жалпы энергия тұтынудың 40 %-дан астамы тиесілі. Сондықтан да ол өңірлерде ғимараттардың оңтайлы геометриясын анықтау маңызды факторлардың бірі болып табылады. Ғимараттардың формасы үй-жайларды жылыту және салқындату үшін энергияны пайдалануға әсер етеді, бірақ геометрия мен энергияны тұтыну арасындағы байланыс әрдайым айқын бола бермейді. Бұл мақалада бағалауға тән екі түрлі прототиптік ықшам нысандар – киіз үй тәрізді және шаршы пішіндес ғимараттардың энергия тиімділікке ісерін салыстырмалы талдау мысалы келтірілген.

Түйін сөздер: ғимараттың геометриясы, энергия тиімділігі, жылу бөлу, жылу жоғалту.

Аннотация. Для повышения энергоэффективности зданий в экстремальных климатических зонах с целью обеспечения требований энергосбережения на их долю приходится более 40% от общего энергопотребления. Поэтому одним из важных факторов является определение оптимальной геометрии зданий в регионах. Форма зданий влияет на использование энергии для обогрева и охлаждения помещений, но взаимосвязь между геометрией и потреблением энергии не всегда очевидна. В этой статье приведен пример сравнительного анализа влияния на энергоэффективность двух различных прототипов компактных объектов - юртовых и квадратных зданий-для оценки.

Ключевые слова: геометрия здания, энергоэффективность, тепловыделение, теплопотери.

Abstract. To increase the energy efficiency of buildings in extreme climatic zones in order to meet energy saving requirements, they account for more than 40% of total energy consumption. Therefore, one of the important factors is to determine the optimal geometry of buildings in the regions. The shape of buildings affects the use of energy for heating and cooling rooms, but the relationship between geometry and energy consumption is not always obvious. This article provides an example of a comparative analysis of the impact on energy efficiency of two different prototypes of compact objects - yurt and square buildings - for evaluations.

Keywords: building geometry, energy efficiency, heat dissipation, heat loss.

Кіріспе. Ғимараттар – экономиканың ең ірі энергия тұтыну секторы болып табылады, ол барлық тұтынылатын энергияның 40 %-дан астамын құрайды (Allen, J. G., et al., 1997).

Энергия тиімді ғимараттар энергия тұтынуды барынша азайту талаптарына жақсы жауап беретін сәулет, дизайн және инженерлік шешімдерінің кешенді шешімінен тұрады. Жобалаушылар үшін ерекше мәселе – бұл бірнеше қарама-қарсы маусымы бар аймақтар, өйткені бұл көбінесе қарама-қайшылықты дизайн шешімдерін қажет етеді (Deresker P. et al., 2001). Бұл әсіресе климаты күрт өзгеріске ұшырап отыратын континенталды аймаққа қатысты, ол жылдық температураның айтарлықтай өзгеруімен, жауын-шашынның көп мөлшерімен және қатты желмен сипатталады.

Бұл континенталды климаттағы ғимарат тиісті жобалық шешімдер қабылдай отырып, температураның айтарлықтай ауытқуларына, қар мен жел жүктемелеріне, қарқынды күн радиациясына және басқа да сыртқы жүктемелерге төтеп бере алатындығын білдіреді. Ғимараттардың жылу тепе-теңдігі олардың сыртқы пішіндерін таңдау, кеңістікті жоспарлау және жобалау шешімдері арқылы, жылу және желдету жүйелерін, іштен жылу келуін, күн сәулесінен жылу келуін, терезелер мен есіктер сияқты мөлдір құрылымдарды оңтайлы орналасуын ескеріп, тиімді құрылыс материалдары мен технологиялары арқылы оңтайландыруға болады.

Ғимарат формасының архитектуралық шешімі мен энергияны тұтыну арасындағы байланыс этанолды ғимаратқа байланысты зерттелген (Pessenlehner W. et al., 2003; Marks, W. et al., 1997; Lis, P. 2007). Ықшам ғимараттар жылу жоғалтудың ең аз мөлшерін құрайтын болғандықтан, онда ғимараттар энергияны тұтыну жағынан алғанда тиімді болып табылады.

Ғимараттардың ықшамдығы олардың ауданының көлемге қатынасы немесе жинақылық коэффициенті деп аталады. Жинақылық әрі ықшам ғимараттардың берілген көлемі үшін сыртқы қабырға бетінің ауданы аз болады. Барлық мүмкін геометриялық пішіндердің ішінде ғимараттардың ең ықшам формасы сфера болып табылады, өйткені сфераның көлемін ең аз болатын ауданымен қоршауға болады. Іс жүзінде сфералық құрылымдар негізінен бақылау пункттері және сақтау орындары сияқты мамандандырылған мақсаттарда қолданылады. Тұрғын үй құрылысына қатысты шығыс елдерінде көбінесе жартылай сфералық формалар – күмбездер қолданылады. Орталық Азияда бұл форманы ғасырлар бойы көшіп қонуға оңтайландырып, жиналмалы баспана, дәстүрлі киіз үй жасау үшін кеңінен қолданып келеді (1-сурет).



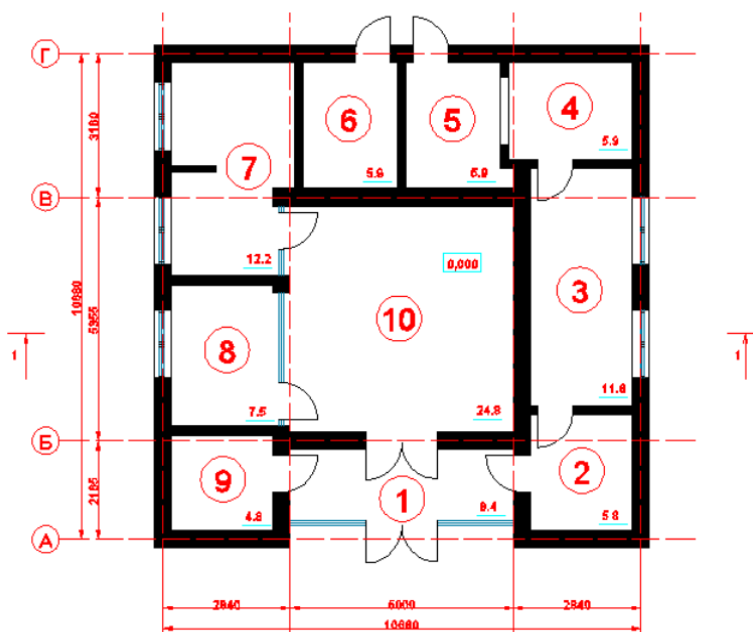
1-сурет. Дәстүрлі киіз үй

Ескерту – авторлармен жасалған

Әлбетте, күмбездер тәріздес ғимараттардың жинақылығы, жел мен жер сілкінісіне жоғары төзімділікті қамтамасыз етуі және сонымен қатар тиімді аэродинамикалық ерекшеліктеріне қарамастан, заманауи құрылыста қолданылатын ғимараттарды геометриялық формасы негізінен тік бұрышты. Американдық археолог Кент Фланнери «Тікбұрышты құрылымдар уақыт өте келе әлемдегі көптеген археологиялық аймақтар дөңгелек құрылымдарға ауыстырылады» деген болатын. Қазіргі кезде құрылыста кеңінен қолданылып келе жатқан ең ықшам пішін – бұрыштар мен тік бұрыштардың саны аз шаршы екені белгілі.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Осы зерттеуде қарапайым шаршы пішіндес (А ғимараты) және дәстүрлі киіз үй пішіндес (В ғимараты) болып табылатын ғимараттардың неғұрлым ықшам геометрияларын және оларды энергетикалық көрсеткіштерге әсері салыстырылады. Екі ғимарат та бір қабатты тұрғын үйлер ретінде жобаланған. Қабылданған климат шұғыл континентті, орташа температурасы қаңтар айында $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -тан $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ және шілде айында $+19\text{...}+26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Қыста температура $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ дейін төмендеуі мүмкін, ал жазда олар $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ дейін көтеріледі. Жылыту маусымы 216 күнді, ішкі және сыртқы ауаның орташа температурасы сәйкесінше $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ және $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ құрайды. Қыста сыртқы ауаның есептік температурасы $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$. Желдің орташа жылдамдығы 5,9 м/с.

Нысан ретінде қабылданған ғимараттардың жоспарлары 2 және 3-суреттерде көрсетілген.



2-сурет. Шаршы пішіндес ғимарат жоспары (А ғимараты)

Ескерту – авторлармен жасалған

Бұл зерттеуде жергілікті құрылыс нормалары мен халықаралық танымал стандарттарды қабылдау арқылы ғимараттардың энергия тиімділігін бағалаудың екі түрлі әдісі қолданылған. Осылайша, бірінші әдіс бойынша екі ғимарат та жергілікті құрылыс нормалары ҚР ҚН 2.04.01-2004 «Энергияны тұтыну және азаматтық ғимараттарды жылудан қорғау» талаптарын қанағаттандырады, ал екінші әдіс бойынша Пассивті стандарттарының талаптарына сәйкестендірілген.

1-кесте. Шаршы пішіндес және киіз үй пішіндес ғимараттардың параметрлері

| № | Атауы | Параметрлері | А ғимараты | В ғимараты |
|---|--|-------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | Жалпы мәліметтер | жалпы биіктігі | 6,3 м | 6,3 м |
| | | қабат биіктігі | 3,0 м | 3,0 м |
| | | қабаттар саны | 1 | 1 |
| | | еден алаңы | 87,0 м ² | 87,0 м ² |
| | | жылытылатын аудан | 55 м ² | 73,0 м ² |
| | | жылытылатын көлем | 165 м ³ | 219,0 м ³ |
| | | тұрғындар саны | 5 | 5 |
| 2 | Аудандар, м ² | сыртқы қабырғалар | 100,0 | 78,0 |
| | | қабат | 113,0 | 113,0 |
| | | терезелер | 11,0 | 11,0 |
| | | есіктер | 12,0 | 12,0 |
| 3 | Жылы өткізгіштікке қарсылық R, м ² ·°C/Вт (ҚР ҚН 2.04.01-2004 бойынша) | сыртқы қабырғалар | 3,6 | 3,6 |
| | | еден | 4,7 | 5,34 |
| | | терезелер | 0,6 | 0,62 |
| | | есіктер | 1,0 | 0,97 |
| 4 | Жылы өткізгіштікке қарсылық R, м ² ·°C/ W (Пассивті үй стандарты бойынша) | сыртқы қабырғалар | 10,0 | 10,0 |
| | | еден | 10,0 | 10,0 |
| | | терезе | 1,2 | 1,2 |
| | | есік | 1,2 | 1,2 |

Ескерту – авторлармен жасалған

Энергия тиімділігін талдау екі прототиптік ғимараттарды маусымдық жылыту және салқындату үшін энергия қажеттіліктерін салыстыруға негізделген. Форманың жалпы энергия қолдану әсерін болжау үшін әртүрлі талдау әдістері қолданылады. Урги және басқалар жылдық энергия (AlAnzi, A., et al., 2009) тұтынуды ғимараттардың салыстырмалы ықшамдылығымен салыстырады және тікбұрышты және L-тәрізді ғимараттармен шектелетін жеңілдетілген әдіс ұсынады. Әл Әнзи және басқа да зерттеушілер (Wang, W et al., 2006) T-тәрізді, U-тәрізді, H-тәрізді және кесілген геометрияны, сондай-ақ терезе аудандары мен әйнек түрлерін қосу арқылы кеңейтілген әдістер ұсынды. Ван және оның әріптестері (Peippo, K et al., 1999) алгоритм арқылы еден жоспарының формасын оңтайландыру әдістемесін ұсынды. Пиппо ғимараттарды жобалаудың оңтайлы параметрлерін анықтау үшін сандық көпөлшемді оңтайландыру іс-шараларын жасады.

Бұл зерттеу ТМД елдері қабылдаған (Yessengabulov S. et al., 2016; Yessengabulov S. 2009) қолданыстағы тұрғын үйлерге жылу тұтынуды есептеу нұсқаулығында келтірілген әдіснама қолданылды. Осыған сәйкес энергияның жалпы қажеттілігі мына формула бойынша анықталады:

$$Q_k^y = [Q_{tr}^y + Q_{inf}^y - (Q_{int}^y + Q_s^y) * v * \zeta] * \beta_k \quad (1)$$

мұндағы: Q_k^y – сыртқы қоршау арқылы жылу жоғалуы (кВт*с); Q_{tr}^y – трансмиссиялық жылу жоғалуы (кВт*с); Q_{inf}^y – инфильтрациялық жылу жоғалуы (кВт*с); Q_{int}^y – ішкі көздер арқылы жылудың өсімі (кВт*с); Q_s^y – мөлдік құрылымдарға түсетін күн сәулесі арқылы жылудың өлшемі (кВт*с); v – жылу бөлу/жылу жоғалту коэффициенті; ζ – автоматты басқару жүйелерінің тиімділік коэффициенті; β_k – жылыту жүйелері мен жабдықтары арқылы жылу жоғалтуымен байланысты жылу энергиясына қосымша қажеттілік.

Сыртқы қоршау арқылы кететін жылу шығыны формула бойынша есептеледі:

$$Q_{tr}^y = 0.024 D_d \sum i \frac{1}{R_i} A_k n \quad (2)$$

мұндағы: D_d – жылыту кезеңіндегі градустық-тәулік (күніне °C); R_i – термиялық кедергі ($m^2 \cdot K / W$); A_k – сыртқы құрылымдардың ауданы (m^2); n – сыртқы қоршаулардың ауамен тәуелділігін көрсететін коэффициент.

Ауа инфильтрациясы есебінен болатын жылу шығыны:

$$Q_{inf}^y = 6.7 * 10 - 3(L_v K_v + L_{vo}) C_v P_a^{inf} D_d, \quad (3)$$

мұндағы: L_v – жылу алмасу жылдамдығы ($m^3 / caғ$); K_v – кіреберіс, баспалдақ және лифт арқылы ауаның қосымша инфильтрация коэффициенті, сондай-ақ терезелердің герметикалығы төмен пәтерлердегі ауаның нормативтік циркуляциясынан асатын инфильтрация коэффициенті (ауа өткізгіштігінің кедергісі); L_{vo} – кіріктерілген блоктар үшін ауаның өзгеру жылдамдығы ($m^3 / caғ$); C_v – меншікті жылу сыйымдылығы ($kJ / kg \cdot ^\circ C$); P_a^{inf} – кіретін ауаның тығыздығы (kg / m^3).

Ішкі көздер арқылы жылудың өсімі мына формула көмегімен анықталады:

$$Q_{int}^y = 0.024 q_{int} z_{int} A_r, \quad (4)$$

мұндағы: q_{int} – жылудың ішкі өсімі (W / m^2); A_r – тұрғын үй-жайлардың ауданы (m^2).

Мөлдір құрылымдарға түсетін күн сәулесі арқылы жылудың өсімі мына формула бойынша анықталады:

$$Q_s^y = T_F K_F \sum \frac{8}{K-1} A_{F,K} I_K, \quad (5)$$

мұндағы: T_F – жарық өткізгіш терезелер арқылы күн сәулесінің салыстырмалы ену коэффициенті; K_F – көлеңкелеу коэффициенті; $A_{F,K}$ – терезелердің ауданы (m^2); I_K – жылу беру кезеңі ішінде тік беттерге түсетін күн сәулесінің орташа қарқындылығы ($kJ / m^2 \cdot c$).

Ғимараттардың бір шаршы метрінің энергия тұтынуы мына формула бойынша анықталады:

$$Q_k^y = \frac{Q_k^y}{A_F}, \quad (6)$$

Жоғарыда сипатталған әдістеме негізінде екі прототиптік ғимараттағы энергия шығыны мен өсу мәні анықталды. Жалпыланған нәтижелер 2 және 3-кестелерде келтірілген.

2-кесте. Жергілікті ғимарат үшін жылу жоғалту және өсу нәтижелері

| № | Параметрлер | А ғимараты | В ғимараты |
|---|--|------------|------------|
| 1 | Сыртқы қоршау арқылы кететін жылу шығыны, кВт·с | 16 650 | 14 352 |
| 2 | Ауа инфильтрациясы есебінен болатын жылу шығыны, кВт·с | 22 918 | 21 319 |
| 3 | Ішкі көздер арқылы жылудың өсімі, кВт·с | 6 433 | 6 433 |
| 4 | Мөлдір құрылымдарға түсетін күн сәулесі арқылы жылудың өсімі, кВт·с | 5 812 | 5 812 |
| 5 | Энергияның жалпы қажеттілігі, кВт·с | 30 328 | 23 425 |
| 6 | Ғимараттардың бір шаршы метрінің энергия тұтынуы, кВт·с/м ² | 350 | 270 |

Ескерту – авторлармен жасалған

2-кестеге сәйкес, А ғимараты В ғимаратына қарағанда сыртқы қоршау арқылы кететін жылу 13,8 %-ға және ауа инфильтрациясы есебінен болатын жылу шығыны 7 %-ға көп жылу жоғалатынын көруге болады. Жылудың көп жоғалуы геометриялық жылу көпірлерінің көптігі әсерінен туындайды. А ғимаратында жылу көпірлері қабырғалардың бұрыштары сияқты екі жазықтықтың түйіскен жерінде пайда болады. В ғимаратында қиылысқан бұрыштары болмағанымен біршама аз жылу ағыны орын алады. Екі жағдайда да жылу шығындарының көп бөлігі оқшаулағыш материалдағы қиылысқан жерлері мен олардың бекітілуі арқылы жүреді.

Осыған ұқсас тенденция 3-кестеде көрсетілген, сыртқы қоршау арқылы кететін энергия шығыны сәйкесінше 11,7 % және 6,5 % төмендейді. Пассивті үй стандарты Қазақстандағы құрылыс нормалары мен ережелеріне қарағанда жылу оқшаулауға қатаң талаптар қояды. 1-кестеде көрсетілгендей, құрылыс элементтерінің жылу кедергісі Пассивті үй стандартында 2-3, 5 есе жоғары.

3-кесте. Пассивті үй стандарты үшін жылу жоғалту және жылу өсімі нәтижелері

| № | Параметрлер | А ғимараты | В ғимараты |
|---|--|------------|------------|
| 1 | Сыртқы қоршау арқылы кететін жылу шығыны, кВт·с | 8530 | 7526 |
| 2 | Ауа инфильтрациясы есебінен болатын жылу шығыны, кВт·с | 9109 | 8514 |
| 3 | Ішкі көздер арқылы жылудың өсімі, кВт·с | 6433 | 6433 |
| 4 | Мөлдір құрылымдарға түсетін күн сәулесі арқылы жылудың өсімі, кВт·с | 3270 | 3270 |
| 5 | Энергия қажеттілігі, кВт·с | 8809 | 6377 |
| 6 | Ғимараттардың 1 м ³ энергия тұтынуы, кВт·с/м ² | 100 | 73 |

Ескерту – авторлармен жасалған

А және В ғимараттарына арналған тұрғындар саны, жарықтандыру, электр аспаптары, терезелер мен есіктердің сипаттамалары, сондай-ақ оның бағыты пайдаланғандықтан, ішкі жылу шығарудың, сондай-ақ терезелер мен күн радиациясының алынған мәндері екі ғимарат үшін де бірдей болды. Тек айырмашылығы жергілікті құрылыс нормалары мен пассивті үй стандарты үшін терезелер арқылы түсетін күн сәулесін салыстырған кезде байқалады. Талаптарға сәйкес, пассивті үйдің стандартты әйнегі жоғары, жалпы күн өткізгіштікке кемінде 50 % ие болуы керек, бұл қыста жылудың іштен өсуіне мүмкіндік береді.

Қорытынды. Киіз үй тәрізді және шаршы пішіндес ғимараттардың энергия тиімділікке әсерін салыстырмалы талдау, киіз үй тәрізді ғимараттың энергияны 23-27 % үнемдейтіндігін байқадық.

Бұл зерттеуде ғимараттардың пішіні мен олардың энергияны қолдану арасындағы байланысты зерттеу барысында келесілер анықталды:

- Киіз үй тәрізді ғимарат жылыту және салқындату үшін жалпы энергияны 23-27 % дейін үнемдейді;

- Жылудың ішкі өсуі мөлдір құрылымдар арқылы ғимараттың пішініне байланысты емес;

- Пассивті үй стандарты жергілікті құрылыс нормаларына қарағанда ғимараттың энергия тиімділігін 3,5 есе арттырады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс білдіру. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде

қаржыландырылды (№BR2882278 гранты, Қазақстан Республикасының құрылыс, жол-құрылыс секторының аккредиттелген қызметтерінің толық циклін көрсету бойынша құрылыс-техникалық инжинирингтік орталық құру»).

Әдебиеттер тізімі

- Allen, J.G., MacNaughton, P., Laurent, J.G.C., Flanigan, S.S., Eitland, E.S., & Spengler, J.D. (2015). Green buildings and health. *Current environmental health reports*, 2, 250-258.
- Brazel, A., & Martin, J. (1997). *Town planning, architecture and building*. Applied Climatology. Principles and Practice. Routledge, London, 175-186.
- Depecker, P., Menezo, C., Virgone, J., & Lepers, S. (2001). Design of buildings shape and energetic consumption. *Building and Environment*, 36(5), 627-635.
- Pessenlehner, W., & Mahdavi, A. (2003). Building morphology, transparency, and energy performance (pp. 1025-1032). na.
- Marks, W. (1997). Multicriteria optimisation of shape of energy-saving buildings. *Building and environment*, 32(4), 331-339.
- Lis, P. (2004). Shape index of school buildings and energy consumption for heating. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, (2)), 204-208.
- Burger, M. (2008). *The Shaping of Western civilization: From antiquity to the Enlightenment*. University of Toronto Press.
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Tabosa, R. M. R., & Silva, G. J. A. (2017). Life cycle assessment in housing projects: an applied study for the context of Northeast Brazil. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 210, 171-182.
- Ourghi, R., Al-Anzi, A., & Krarti, M. (2007). A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings. *Energy conversion and management*, 48(1), 300-305.
- AlAnzi, A., Seo, D., & Krarti, M. (2009). Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait. *Energy Conversion and Management*, 50(3), 822-828.
- Wang, W., Rivard, H., & Zmeureanu, R. (2006). Floor shape optimization for green building design. *Advanced Engineering Informatics*, 20(4), 363-378.
- Peippo, K., Lund, P. D., & Vartiainen, E. (1999). Multivariate optimization of design trade-offs for solar low energy buildings. *Energy and buildings*, 29(2), 189-205.
- ҚР ҚН 2.04.01-2004 «Энергияны тұтыну және азаматтық ғимараттарды жылудан қорғау» // ҚР ҚН 2.04.01-2004 «Energiyany тұтыну және азаматтық ғимараттарды жылудан қорғау»
- Yessengabulov, S., & Uyzbayeva, A. (2016). Retrofitting Measures for Existing Housing Stock in Kazakhstan. *International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 10(10), 1316-1323.
- Есенгабулов, С. К. (2009). Энергоэффективные наружные стены с организованным воздухообменом (Doctoral dissertation, Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий) // Esengabulov, S.K. (2009). Energoeffektivnye naruzhnye steny s organizovannym vozduhoobmenom (Doctoral dissertation, Central'nyj nauchno-issledovatel'skij i projektnyj institut zhilyh i obshchestvennyh zdaniy)

Information about authors

Esengabulov Serikbolat – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: serik-y@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2281-8132, +7 777 529 41 18

Zharkenov Yerkebulan Berdenovich – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: berdenovich@gmail.com

Kozhakhmet Meiram Saginbaiuly – L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: meiram_kms@mail.ru

Nurbayeva Marzhan Nurbaykyzy – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: marzhan_nurbaeva@mail.ru

Zhaksembayeva Asel Yermekovna – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHTECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_271
MPHTI 67.11.29

Р.Е. Лукпанов¹, Д.В. Цыгулев², Д.С. Дюсембинов³, А.Д. Алтынбекова⁴, С.Б. Енкебаев⁵
ТОО «Solid Research Group», г. Астана, Казахстан

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

¹E-mail: rauan_82@mail.ru

²E-mail: denis_riza_72@mail.ru

³E-mail: dusembinov@mail.ru

⁴E-mail: kleo-14@mail.ru*

⁵E-mail: Yenkebayev-serik@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВАЙ ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PLAXIS 2D

PLAXIS 2D БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕНІНДЕ САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АЙНЫМАЛЫ ПРОФИЛЬДІ ҚАДА ӨНІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

STUDY OF VARIABLE PROFILE PILE PERFORMANCE USING NUMERICAL MODELING IN PLAXIS 2D SOFTWARE PACKAGE

Аннотация. В статье представлены результаты исследования работы нового типа свай переменного профиля с поворотными секциями. Исследования выполнены в плоской постановке задачи с использованием программного комплекса Plaxis 2D. Численное моделирование было выполнено в условиях однородной среды. Оценка работы свай выполнена по заданным перемещениям и заданным напряжениям. Целью исследования была оценка работы предлагаемого типа сваи с традиционной призматической забивной сваем. Согласно результатам испытаний по заданным перемещениям было получено распределение бокового напряжения по стволу сваи, которое имело определенную закономерность: уменьшение напряжения под нижним концом сваи при увеличении количества сегментов, то есть чем больше сегментов, а, следовательно, зон уширений, тем больше околосвайный грунтовый массив включается в работу. Сравнение результатов испытаний было определено, что сваи типа 3 со средним количеством поворотных секций имеют наименьшую осадку. Наибольшая осадка грунта у сваи типа 2 (относительно свай с поворотными секциями) может быть объяснена слишком малой толщиной грунта на участках уширений (как следствие меньших лобовых сопротивлений грунта под уширениями), связанной со слишком малыми размерами секций. Исходя из результатов исследования, было получено технологическое решение оптимального типоразмера сваи, которому соответствует наилучшая ее работа в грунтовых условиях. Таким образом, если оценивать работу сваи в целом, то наилучшим вариантом с точки зрения наименьшей осадки являются сваи типа 3 с длиной поворотных секций 0,5 м.

Ключевые слова: фундамент глубокого заложения, забивная свая, свая переменного профиля с поворотными секциями, численное моделирование, околосвайный грунт, напряжение грунта.

Аңдатпа. Мақалада айнымалы секциялары бар жаңа түрдегі ауыспалы профильді қадалардың жұмысын зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеулер Plaxis 2D бағдарламалық пакетін пайдаланып есептің біркелкі тұжырымдауында жүргізілді. Сандық модельдеу біртекті ортада орындалды. Қадалардың жұмысының бағалануы берілген кернеулер және орын ауыстырулар бойынша орындалды. Зерттеудің мақсаты дәстүрлі призматикалық қадалары бар қаданың ұсынылған түрінің жұмысының бағалануы болды. Берілген қозғалыстарды сынау нәтижелеріне сәйкес, қаданың бөшкесі бойынша бүйірлік кернеудің таралуы алынды, оның белгілі бір заңдылығы бар: сегменттер санының ұлғаюымен қаданың төменгі ұшының астындағы кернеудің төмендеуі, яғни, неғұрлым көп сегменттер және, тиісінше, аймақтарды кеңейту, соғұрлым қадаға жақын

топырақ массиві жұмысқа қосылады. Берілген кернеулер бойынша сынақ нәтижелерін салыстыра отырып, айнымалы секциялардың орташа саны бар 3 типті қадалардың ең аз шөгуді бар екені анықталды. 2 типті қадалар үшін топырақтың ең жоғары шөгуді (айнымалы секциялары бар қадаларға қатысты) тым кішігірім кесінді өлшемдерімен байланысты, кеңейтілетін аумақтардағы топырақтың тым аз қалыңдығымен (кеңейтулер астындағы топырақтың төмен тартылуының нәтижесінде) түсіндірілуі мүмкін. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, топырақ жағдайында оның ең жақсы көрсеткіштеріне сәйкес келетін қаданың оңтайлы стандартты өлшемі үшін технологиялық шешім алынды. Осылайша, егер қада жұмысын тұтастай бағалайтын болсақ, онда ең аз шөгу тұрғысынан, ең жақсы нұсқа-3 типті қадалар, айналмалы бөлімдердің ұзындығы 0,5 м болып табылады.

Түйін сөздер: Терең іргетас, жетекті қада, айнымалы секциялары бар ауыспалы профильді қада, сандық модельдеу, қада маңындағы топырақ, топырақ кернеуі.

Abstract. The paper presents the results of the study of the performance of a new type of variable profile piles with rotating sections. The studies were performed in a plane problem formulation using the Plaxis 2D software package. Numerical modeling was performed in conditions of homogeneous medium. The performance of the piles was evaluated using given displacements and given stresses. The aim of the study was to evaluate the performance of the proposed pile type with the conventional prismatic driven pile. According to the results of the predetermined displacement tests, the lateral stress distribution along the pile shaft was obtained, which had a definite pattern: the stress under the lower end of the pile decreased as the number of segments increased, i.e. the more segments, and hence the more extensions, the more the per-pile soil mass was included in the work. By comparing the test results for the given stresses, it was determined that Type 3 piles with an average number of pivoting sections have the lowest settlement. The highest settlement of Type 2 piles (relative to piles with pivoting sections) can be explained by the too small soil thickness at the extensions (as a consequence of the lower frontal resistance of the soil under the extensions) due to the too small size of the sections. Based on the results of the study, a technological solution of the optimal pile size was obtained, which corresponds to the best performance in soil conditions. Thus, if we evaluate the performance of the pile as a whole, the best option in terms of the lowest settlement is Type 3 piles, with a length of 0.5 m pivoting sections.

Keywords: Deep foundation, driven pile, variable profile pile with rotating sections, numerical modeling, near-pile soil, soil stress.

Введение. Современное строительство предъявляет инженерам и проектировщикам высокие стандарты и требования к процессу строительства и проектирования. В ответ на эти вызовы, устоявшиеся традиционные подходы постепенно уступают место новым, более экономически и экологически эффективным технологиям, способствующим энергосбережению и снижению негативного воздействия на окружающую среду (Chimdesa, Jilo, Hulagabali, Babalola, Tiyasha & Bhagat, 2023; Ивлев, 2022). В данном контексте вопрос актуализации технологических и технических решений коснулся и фундаментостроения, в частности технологии устройства фундаментов глубокого заложения (далее свайных фундаментов) (Al-Ne'aimi & Hussein, 2024).

Свайные фундаменты играют фундаментальную роль в строительной индустрии, обеспечивая устойчивость и долговечность зданий и сооружений (Pradel, 2021). С учетом стремительного развития современных строительных требований и инновационных достижений в инженерной сфере постоянное совершенствование свайных конструкций становится неотъемлемой частью процесса строительства (Batilas, Bahmani, Bannister, Roberts & Benson, 2021; Elsaywaf, Azzam & Elghrouby, 2023; Абелев, Абелева, Аверин, Чунюк & Алмазов, 2023). В последние десятилетия исследователи и инженеры по всему миру активно работают над разработкой и совершенствованием свайных фундаментов, представляющих собой инновационное решение в области фундаментных конструкций (Fasano, Nappa, Özcebe & Bilotta, 2021; Singh & Chatterjee, 2020). Исследования в области свайных фундаментов и их совершенствования представляют собой обширную и многогранную область научных исследований и инженерной практики (Amag, 2021; Salih & Rashid, 2022; Venkatesan, Mayakrishnan & Shukla, 2024).

Свайные фундаменты сегодня находятся в центре внимания на стройплощадках Казахстана и востребованы как один из наиболее предпочтительных типов фундаментов. Это обосновывается не только потребностью в несущей способности для строительства зданий и сооружений, включая высотные конструкции, но и рядом других факторов, которые делают свайные фундаменты незаменимыми в современной строительной практике Казахстана. Последнее стало причиной появления новых технологий и оборудования по устройству свайных фундаментов, которые имеют непосредственные преимущества перед устоявшимися на строительном рынке технологиями (Orozco-Herrera et al., 2022; Zhang, Chen, Yao, Stive & Zeng, 2023; Suzuki & Nagai, 2023). Среди всего разнообразия свайных фундаментов на строительном рынке наиболее востребованными остаются забивные сваи. Преимуществом забивных свай являются: относительно простой процесс производства работ, гарантированная унификация свайного поля, стоимость и сроки инсталляции. К недостаткам можно отнести наличие вибрационных воздействий и шума при инсталляции, а также ограниченную несущую способность. При отсутствии ограничений, причисленных к недостаткам, использование забивных свай становится наиболее предпочтительным с экономической точки зрения (Cheng, Sui, Wang, Deng, Wei, Xu, He & Yang, 2023; Zhang, 2023).

Представленное в статье технологическое решение конструкции забивной сваи относится к вопросу улучшения работы сваи в грунте и увеличению удельной несущей способности сваи. Эффект технологического решения достигается путем модернизации фундамента глубокого заложения, связанной с изменением его геометрии. При этом основополагающим критерием модернизации станет увеличение несущей способности по грунту при одинаковой материалоемкости с классической забивной свайей квадратного сечения, рис. 1.

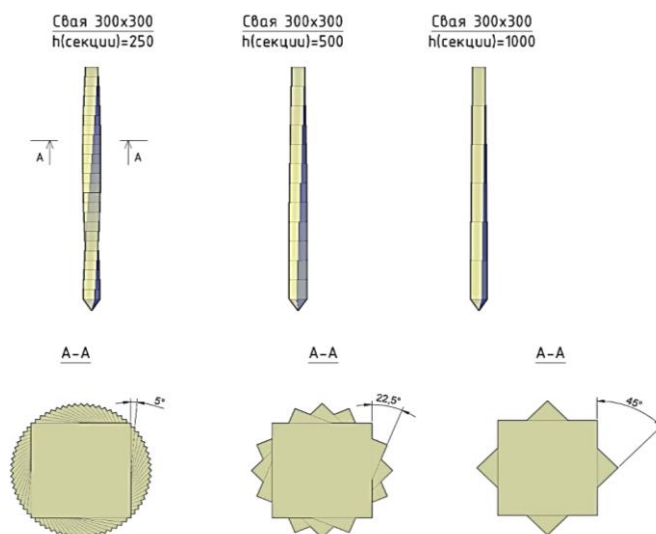


Рисунок 1. Сваи переменного профиля с поворотными секциями

Примечание – составлено автором

Технологический эффект по увеличению несущей способности по грунту достигается за счет посекционного смещения сегментов сваи на разный угол поворота относительно оси симметрии сваи. В целом эффект достигается путем изменения характера бокового контакта сваи с грунтом, из-за чего появляются дополнительные участки сопротивления.

В результате получим экономический эффект, связанный со снижением затрат нулевого цикла строительства: увеличение несущей способности отдельного фундамента приведет к уменьшению общего их количества. То есть эффективность прямо пропорциональна несущей способности свай и обратно пропорциональна их количеству. Тем не менее, определение оптимального, а значит наиболее приемлемого, технологического решения требует более глубокого изучения, расчета и анализа данных, таких как: оценка увеличения несущей способности свай от длины поворотных секции или угла поворота секции; оптимизация смещения относительно грунтовых условий; оценка увеличения стоимости изготовления; оценка сопротивления при забивке при разных технологических решениях и прочее. В рамках данной статьи будет рассмотрен один из основных оценочных критериев технологического решения: влияние длины поворотной секции на напряженно-деформированное состояние околосвайного грунтового массива.

Исследование работы свай с использованием метода численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D отражено в значительном количестве научных статей и исследований (Толмачев & Рамазанов, 2023; Tyer, Paraskevopoulou, Shah, Miller & Kavvadas, 2023). Данная методика позволяет более точно оценивать и прогнозировать поведение свай в различных грунтовых условиях, что важно для обеспечения стабильности и надежности фундаментов. Важно отметить, что исследования, проведенные с использованием метода численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D, предоставляют более точные и надежные результаты, что способствует разработке более эффективных и устойчивых фундаментов. Эти исследования оказывают значительное влияние на практику строительства и способствуют развитию инженерной науки в области фундаментов.

Материалы и методы исследования. Для оценки работоспособности предлагаемого типа свай, а также оценки напряженно-деформированного состояния грунта был использован метод численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D. Моделирование выполнено в двухмерной постановке задачи Plane strain в модели Мора-Кулона для следующих типов свай:

- тип 1 – стандартная призматическая свая квадратного сечения 3х3 см, длиной 60 см;
- тип 2 – свая сечением 3х3 см с длиной поворотных секций 3,33 см (из условия 3 секций на 1 м свай), поворотом секций 45° относительно друг друга, общей длиной 60 см;
- тип 3 – свая сечением 3х3 см с длиной поворотных секций 3,33 см (из условия 3 секций на 1 м свай), поворотом секций 45° относительно друг друга, общей длиной 60 см;
- тип 4 – свая сечением 3х3 см с длиной поворотных секций 5,0 см (из условия 3 секций на 1 м свай), поворотом секций 45° относительно друг друга, общей длиной 60 см.

Оценка работы предлагаемого типа свай была выполнена в сравнении с традиционной свай, а также с вариативными по длине поворотных секций типами свай. На рис. 2 показаны расчетные схемы сравниваемых типов свай.

Геометрия, в частности длина свай 6 м, была определена из условия ранее проведенных модельных испытаний, а точнее пространственного ограничения испытательного стенда. То есть принятые размеры свай позволили использовать стенд без влияния его граничных условий на напряженно-деформированное состояние грунта. Для моделирования эквивалентного грунта был выбран песок мелкой фракции 0,125 содержанием 57,98 % (в среднем) с добавлением масла для увеличения удельного сцепления. Оптимальным решением по содержанию масла в составе грунта стало 4 %. При таком соотношении наблюдался прирост удельного сцепления (увеличение на 72 % по отношению к 1 % содержанию масла) при относительно незначительном снижении угла внутреннего трения (снижение на 5 % по отношению к 1 % содержанию масла).

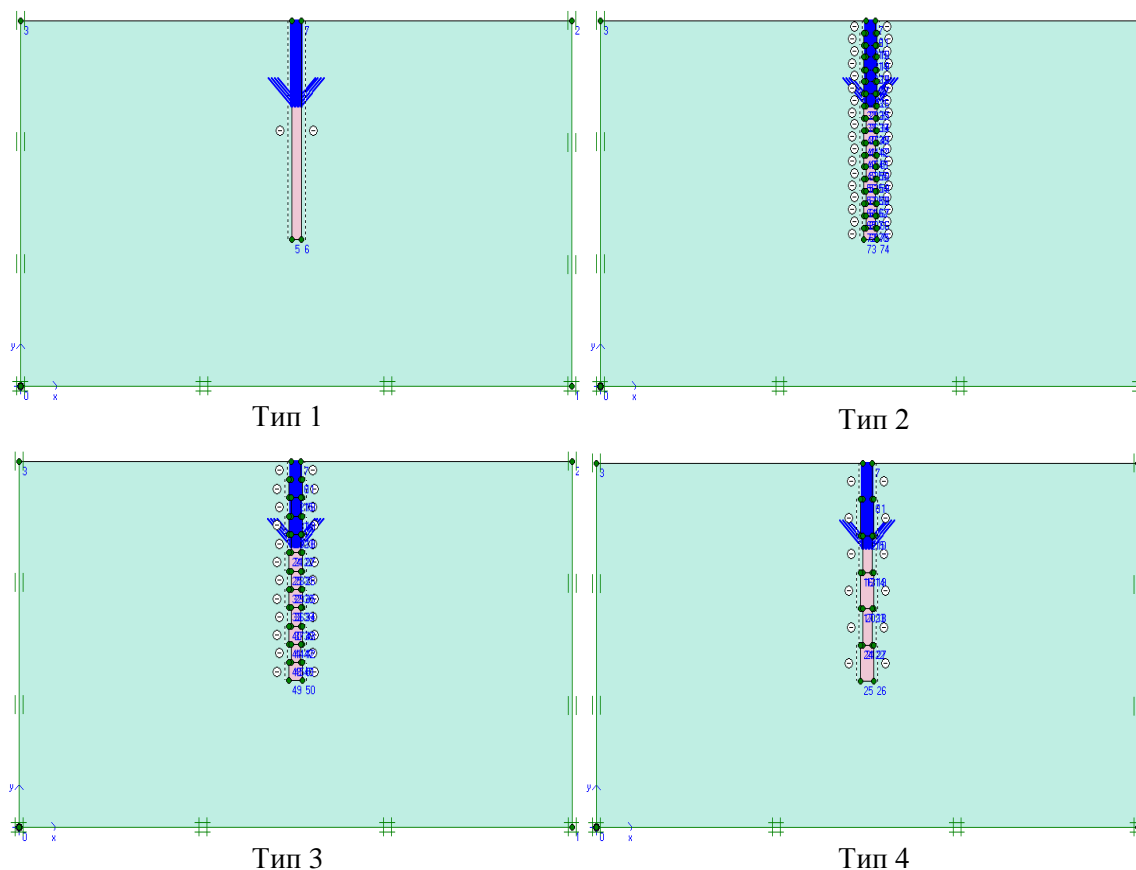


Рисунок 2. Расчетные схемы свай

Примечание – составлено автором

Характеристики эквивалентного грунта, принятые для моделирования: сцепление – 4,33 кН/м²; угол внутреннего трения 28°, модуль Юнга – 6400 кН/м²; коэффициент Пуассона – 1; плотность в сухом состоянии – 17 кН/м³; плотность во влажном состоянии – 19 кН/м³; водопроницаемость – 1 м/сутки (в обоих направлениях).

Результаты и их обсуждение. Сравнивая характер расположения изолиний на рис. 2 можно заключить, что стабилизация смещений грунта у свай типа 1 происходит менее стабильно по сравнению с другими типами, смещение околосвайного массива распространяется на большие расстояния от источника.

На рис. 3 представлены полные напряжения, возникающие при заданном перемещении свай 40 мм. Для визуализации распределения напряжения по стволу сваи и под ее концом показаны mean shading, а также эпюры напряжений околосвайного грунта.

На рис. 4 показан характер распределения результирующих перемещений, на рис. 5 – полученные значения вертикальных перемещений (осадок) сравниваемых типов свай, численные значения полученных результатов осадок приведены в табл. 1.

Из графиков вертикальных перемещений (рис. 5, табл. 1) видим, что наибольшее значение осадки у свай типа 1 (47 мм), наименьшие – у свай типа 3 (31 мм). У свай типа 4 и типа 2 вертикальные перемещения составили 36 мм и 42 мм соответственно.

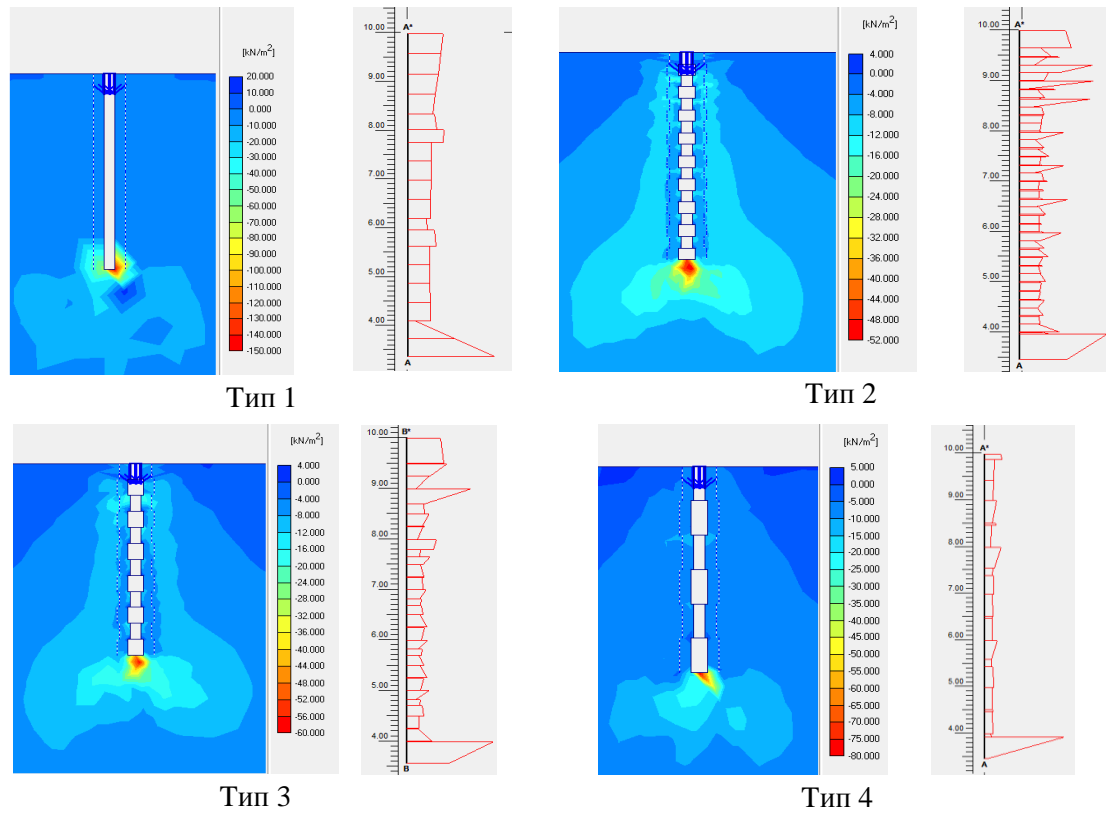


Рисунок 3. Распределение total stress

Примечание – составлено автором

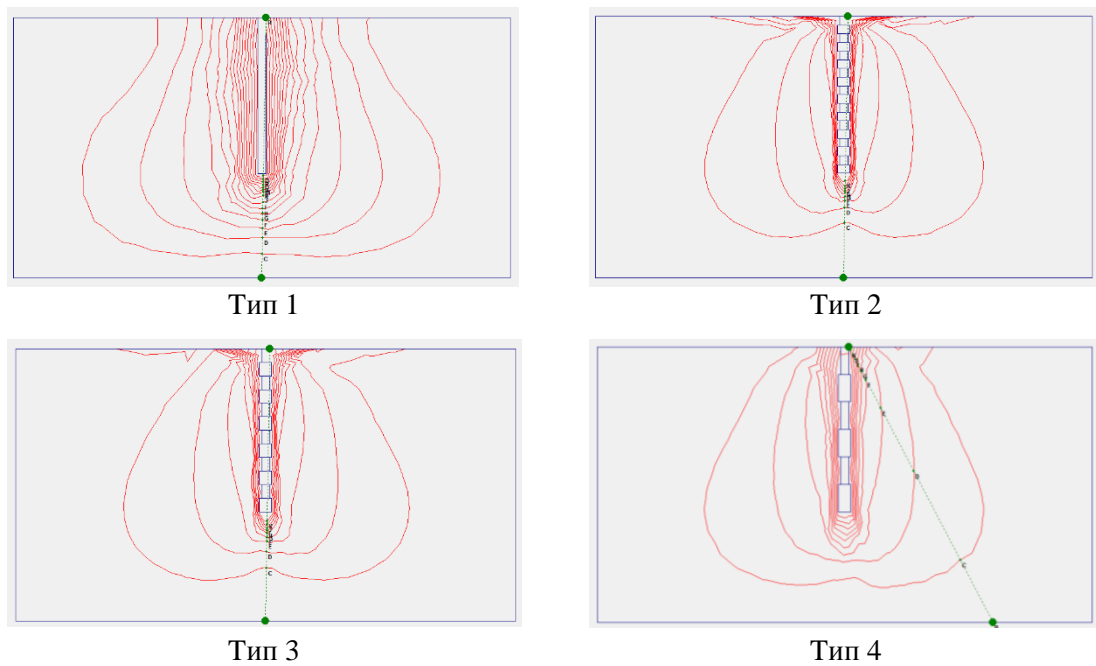


Рисунок 4. Результирующие перемещения сравниваемых типов свай

Примечание – составлено автором

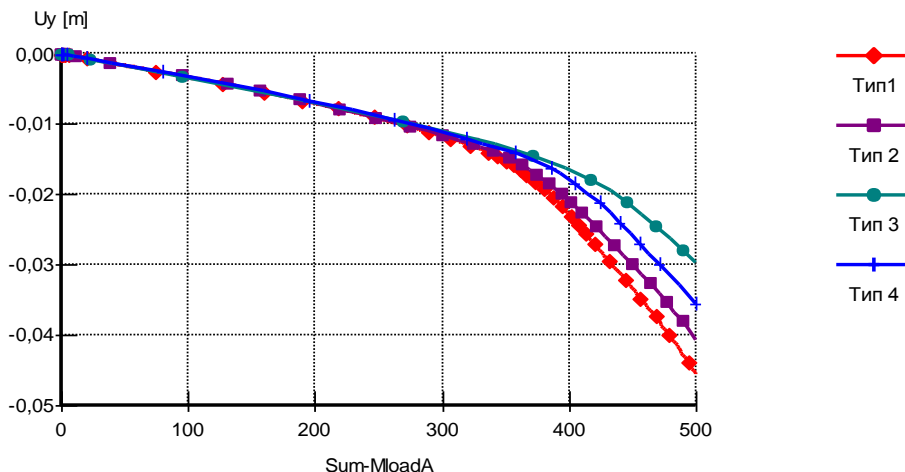


Рисунок 5. Вертикальные перемещения свай

Примечание – составлено автором

Таблица 1. Полученные данные перемещений свай

| Тип сваи | Осадка (вертикальное перемещение) сваи, мм | | | | |
|----------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 100 кН | 200 кН | 300 кН | 400 кН | 500 кН |
| Тип 1 | 4 | 7 | 12 | 23 | 47 |
| Тип 2 | 4 | 7 | 11 | 21 | 42 |
| Тип 3 | 4 | 7 | 10 | 16 | 31 |
| Тип 4 | 4 | 7 | 11 | 18 | 36 |

Примечание – составлено автором

Полученные диаграммы не позволяют сделать однозначных выводов о влиянии количества секций свай на работу их в грунте. У свай с наибольшим количеством секций наблюдается большая осадка, чем у свай со средним и наименьшим количеством секций. В то же время у свай со средним количеством секций осадка сваи меньше, чем у свай с наименьшим количеством секций. В настоящих инженерно-геологических условиях сваи типа 3 являются оптимальным технологическим решением. Наименьшая осадка грунта у сваи типа 2 (относительно других свай с поворотными секциями) может быть объяснена слишком малой толщиной грунта на участках уширений (меньших лобовых сопротивлений грунта под уширениями), связанной со слишком малыми размерами секций. Также можно предположить, что при непрерывном нагружении сваи грунт в выступах поворотных секций не успевает восстановиться в связи с малой длиной секций типа 2 относительно свай типа 3 и 4. В любом случае сваи с сегментами показали меньшие значения перемещений по сравнению с классической свайей.

Полученные результаты коррелируют с ранее проведенными экспериментами в испытательном лотке в масштабе 1:25. Согласно ранее проведенным модельным испытаниям, наилучший показатель по несущей способности относительно наименьшего вертикального смещения сваи под нагрузкой показали сваи типа 3, наименьшие – сваи типа 1. В целом, численное моделирование показало идентичное качество изменения напряженно-деформированного состояния свай разного профиля, а различия в количественных данных связано с условиями экспериментов. В последующем будут проведены натурные испытания свай в реальных условиях залегания грунтов природного

сложения с последующей корреляцией (и корректировкой) результатов к численному моделированию. Последнее позволит производить быструю оценку работоспособности свай переменного профиля численным моделированием.

Заключение. Анализ работы свай с разной длиной поворотных секций выполнен в плоской постановке задачи в программном комплексе Plaxis 2D. Численное моделирование было выполнено в условиях однородной среды. Исследования работы свай были выполнены по заданным перемещениям и заданным напряжениям.

Согласно результатам испытаний по заданным перемещениям было получено распределение бокового напряжения по стволу сваи, которое имело определенную закономерность: уменьшение напряжения под нижним концом сваи при увеличении количества сегментов, то есть чем больше сегментов, а следовательно и зон уширений, тем больше околосвайный грунтовый массив включается в работу.

Согласно результатам испытаний по заданным напряжениям было определено, что сваи типа 3 со средним количеством поворотных секций имеют наименьшую осадку. Наибольшая осадка грунта у сваи типа 2 (относительно свай с поворотными секциями) может быть объяснена слишком малой толщиной грунта на участках уширений (как следствие меньших лобовых сопротивлений грунта под уширениями), связанной со слишком малыми размерами секций. Таким образом, если оценивать работу сваи в целом, то наилучшим вариантом с точки зрения наименьшей осадки являются сваи типа 3 с длиной поворотных секций 0,5 м.

Проведенные исследования показали эффективность, а главное валидность применения численного моделирования для оценки работоспособности свай переменного профиля в грунтовых условиях. Полученные результаты нагрузки-осадки качественно коррелируют с ранее проведенными модельными исследованиями свай в масштабе. В перспективе будут проведены контрольные натурные испытания свай в реальных грунтовых условиях, что даст возможность практического применения расчетного аппарата численным моделированием свай переменного профиля.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19680068 – «Разработка технологии производства фундамента глубокого заложения повышенной прочности и несущей способности с применением комплексной модифицирующей добавки на основе отходов промышленности»).

Список литературы

- Chimdesa F.F., Chimdesa F.F., Jilo N.Z., Hulagabali A., Babalola O.E., Tiyasha T., Bhagat, S.K. (2023). Numerical analysis of pile group, piled raft, and footing using finite element software PLAXIS 2D and GEO5. *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, 15875, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42783-x>.
- Ивлев И.М. (2022). Разработка оптимального решения фундаментов резервуаров в условиях массового недопогружения свай. *Вестник НИЦ «Строительство»*, № 3, 66-78. // Ivlev I.M. (2022). *Razrabotka optimal'nogo resheniya fundamentov rezervuarov v usloviyah massovogo nedopogruzheniya svaj*. *Vestnik NIC «Stroitel'stvo»*, № 3, 66-78.
- Al-Ne'aimi R.M.S., Hussein K.Q. (2024). Numerical study of pile raft foundation behavior under vertical loads and large moments. *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 42, no. 1, 97-119, <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02558-7>.
- Pradel D. (2021). Numerical Modelling for Slope Stabilizations in Modern Geotechnical Practice. *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk: Volume 4 Testing, Modeling and Risk Assessment 5th*, vol. 2, no. 1, 65-79, https://doi.org/10.1007/978-3-030-60706-7_4.
- Batilas A.V., Bahmani B., Bannister D.P., Roberts D.M., Benson A.D. (2021). Design Methodology for Bridge Abutment Pile Group Foundations—A Case Study. *Piling 2020: Proceedings of the Piling 2020 Conference*. – ICE Publishing, vol. 4, no. 1, 103-108.

- Elsawwaf M., Azzam W., Elghrouby N. (2023). The effect of jet grouting on enhancing the lateral behavior of piled raft foundation in soft clay (numerical investigation). *Advances in Geological and Geotechnical Engineering Research*, vol. 5, no. 1, 24-39, <https://doi.org/10.30564/agger.v5i1.5347>.
- Абелев М.Ю., Абелева А.М., Аверин И.В., Чунюк Д.Ю., Алмазов А.А. (2023). Особенности строительства на лессовых просадочных при замачивании грунтах. Москва: Издательство АСВ, 144. // Abelev M.YU., Abeleva A.M., Averin I.V., Chunyuk D.YU., Almazov A.A. (2023). Osobennosti stroitel'stva na lessovykh prosadochnykh pri zamachivanii gruntah. Moskva: Izdatel'stvo ASV, 144.
- Fasano G., Nappa V., Özcebe A. G., Bilotta E. (2021). Numerical modelling of the effect of horizontal drains in centrifuge tests on soil-structure interaction in liquefiable soils. *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 19, 3895-3931, <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01084-2>.
- Singh A. P., Chatterjee K. (2020). Influence of soil type on static response of cantilever sheet pile walls under surcharge loading: a numerical study. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 13, 1-11, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5170-x>.
- Amar Bouzid D. (2021). Analytical quantification of ultimate resistance for sand flowing horizontally around monopile: New py curve formulation. *International Journal of Geomechanics*, vol. 21, no. 3, 04021007, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.000192](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.000192).
- Salih A.G., Rashid A.S.A., Salih N.B. (2022). Finite element analysis of the load-settlement behavior of large-scale shallow foundations on fine-grained soil utilizing plaxis 3D. *International Conference on Geotechnical Engineering-IRAQ*. – Singapore : Springer Nature Singapore, 249-260, https://doi.org/10.1007/978-981-19-7358-1_22.
- Venkatesan V., Mayakrishnan M., Shukla S.K. (2024). Effect of pile spacing in helical pile groups in soft clays under combined loading. *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 42, no. 4, 432-452, <https://doi.org/10.1080/1064119X.2023.2196962>.
- Orozco-Herrera J. E. et al. (2022). Continuous impact pile driving modeling to elucidate settlement-PPV-soil density-input energy relationships. *Geo-Congress 2022*, 113-122.
- Zhang R., Chen Y., Yao P., Stive M.J.F., Zeng, J. (2023). Numerical Simulations of Effects of the Layout of Permeable Pile Groin Systems on Longshore Currents. *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, 1823, <https://doi.org/10.3390/jmse11091823>.
- Suzuki N., Nagai K. (2023). Piling Data-Driven Framework for Optimized Pile Structures Based on Minimizing the Expected Total Cost. *Appl. Sci.*, vol. 13, 10216, <https://doi.org/10.3390/app131810216>.
- Cheng H., Sui G., Wang G., Deng J., Wei H., Xu R., He Y., Yang W. (2023). Study on the Optimization of Pile Length of Micropiles in Soil Landslides. *Appl. Sci.*, vol. 13, 9980, <https://doi.org/10.3390/app13179980>.
- Zhang D. (2023). Influences of Deep Foundation Pit Excavation on the Stability of Adjacent Ancient Buildings. *Buildings*, vol. 13, 2004, <https://doi.org/10.3390/buildings13082004>.
- Толмачев Д.А., Рамазанов А.Г. (2023). Определение несущей способности одиночной сваи путем моделирования испытаний в программном комплексе PLAXIS 2D. *ИВД, №7 (103)*. // Tolmachev D.A., Ramazanov A.G. (2023). Opredelenie nesushchej sposobnosti odinochnoj svai putem modelirovaniya ispytaniy v programmnom komplekse PLAXIS 2D. *IVD, №7 (103)*.
- Tyrer J., Paraskevopoulou C., Shah R., Miller R., Kavvadas M. (2023). Tunnelling with Full-Face Shielded Machines: A 3D Numerical Analysis of an Earth Pressure Balance (EPB) Excavation Sequence Using the Finite Element Method (FEM). *Geosciences 2023*, vol. 13, 244, <https://doi.org/10.3390/geosciences13080244>.

Information about authors

Lukpanov Rauan – PhD, associated professor, senior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: rauan_82@mail.ru, ORCID:0000-0003-0085-9934, +7 701 188 44 44

Tsygulev Denis – Candidate of Technical Science, Associate Professor, scientific supervisor, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: denis_riza_72@mail.ru, ORCID:0000-0002-7061-699X, +7 777 151 28 72

Dyusseminov Duman – Candidate of Technical Science, Associate Professor, researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: duseminov@mail.ru, ORCID:0000-0001-6118-5238, +7 705 428 38 58

Altynbekova Aliya – PhD, junior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. Senior lecturer Department of Technology of Industrial and Civil Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: kleo-14@mail.ru, ORCID:0000-0003-1010-9328, +7 777 973 08 59

Yenkebayev Serik – Candidate of Science, Associate Professor, senior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: yenkebayev-serik@mail.ru, ORCID:0000-0002-5984-9346, +7 701 642 79 89

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_280
IRSTI 67.07.33

T.K. Samuratova¹, G.A. Akhmetova-Abdik¹, N. Omarbekova², Zh.K. Ermekova¹, I. Lunev¹

¹L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

E-mail: Samyratovatk@mail.ru*

Email: gulzhanatakhmet@gmail.com

E-mail: zhadyra-ermekova@mail.ru

E-mail: ilyalunev.kz@gmail.com

²Karaganda Medical University NC JSC, Karaganda, Kazakhstan

E-mail: nas_nk@mail.ru

**SPIRITUAL HERITAGE IN THE ART OF THE TURKIC WORLD –
SPACE AND TIME IN KAZAKH TRADITIONAL ART**

**ТҮРКІ ӘЛЕМІ ӨНЕРІНДЕГІ РУХАНИ МҰРА –
ҚАЗАҚ ДӘСТҮРЛІ ӨНЕРІНДЕГІ КЕҢІСТІК ПЕН УАҚЫТ**

**ДУХОВНОЕ НАСЛЕДИЕ В ИСКУССТВЕ ТЮРКСКОГО МИРА –
ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В КАЗАХСКОМ ТРАДИЦИОННОМ ИСКУССТВЕ**

Annotation. The authors of this article describe the conditions for the effective implementation of the ethnopedagogical approach in the professional training of future designers at the university. In their research, the authors rely on the principle of combining ethnocultural and modern concepts of space and time. As we know, Kazakhstan is a multicultural state, whose main tasks in the field of education and culture are to establish a unified educational space, harmonize national and ethno-cultural relations. In this context, the spiritual heritage in the art of the Turkic world, which determines the peculiarities of space and time in Kazakh traditional art, determines the relevance of the topic. Purpose: to prove that space and time in traditional Kazakh art are a spiritual heritage in the art of the Turkic world. The peculiarities of space and time are proved from the point of view of philosophical, ethnographic, folklore, physics, astronomy, national cultural heritage, applied art. It is determined that the yurt is the main element of Kazakh architecture, and ornaments are applied arts. The practical and theoretical significance of the obtained results is proved.

Keywords: art of the Turkic world, spiritual heritage, Kazakh traditional art, ethno matter, Einstein's theory of relativity, astrophysics.

Аннотация. Бұл мақаланың авторлары университетте болашақ дизайнерлерді кәсіби даярлауда этнопедагогикалық тәсілді тиімді жүзеге асырудың шарттарын сипаттайды. Авторлар өз зерттеулерінде кеңістік пен уақыттың этномәдени және заманауи концепцияларын біріктіру принципіне сүйенеді. Біз білетіндей, Қазақстан – көпмәдениетті мемлекет, оның білім беру және мәдениет саласындағы негізгі міндеттері біртұтас білім беру кеңістігін қалыптастыруға, ұлттық және этномәдени қатынастарды үйлестіруге келіп тіреледі. Осы тұрғыда қазақтың дәстүрлі өнеріндегі кеңістік пен уақыт ерекшеліктерін айқындайтын түркі әлемі өнеріндегі рухани мұра тақырыптың өзектілігін айқындайды. Мақсаты: Қазақтың дәстүрлі өнеріндегі кеңістік пен уақыт түркі әлемі өнеріндегі рухани мұра екенін дәлелдеу. Кеңістік пен уақыттың ерекшеліктері философиялық, этнографиялық, фольклорлық, физика, астрономия, ұлттық мәдени мұра, қолданбалы өнер тұрғысынан дәлелденген. Киіз үй қазақ сәулет өнерінің негізгі элементі, ал ою-өрнек қолданбалы өнердің негізгі элементі екені анықталды. Алынған нәтижелердің практикалық және теориялық маңыздылығы дәлелденді.

Түйін сөздер: түркі әлемінің өнері, рухани мұра, қазақтың дәстүрлі өнері, этнопедагогика, кеңістік пен уақыт, материя, Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы, астрофизика.

Аннотация. Авторы данной статьи описывают условия эффективной реализации этнопедагогического подхода в профессиональной подготовке будущих дизайнеров в вузе. Авторы в своих исследованиях опираются на принцип объединения этнокультурных и современных представлений о пространстве и времени. Как известно, Казахстан – поликультурное

государство, основные задачи которого в сфере образования и культуры сводятся к формированию единого образовательного пространства, гармонизации национальных и этнокультурных связей. В этом контексте актуальность темы определяется духовным наследием в искусстве тюркского мира, определяющим особенности пространства и времени в казахском традиционном искусстве. Цель: доказать, что пространство и время в традиционном казахском искусстве являются духовным наследием в искусстве тюркского мира. Особенности пространства и времени доказываются с точки зрения философского, этнографического, фольклорного, физики, астрономии, национального культурного наследия и прикладного искусства. Определено, что юрта является основным элементом казахской архитектуры, а орнаменты – основным элементом прикладного искусства. Доказана практическая и теоретическая значимость полученных результатов.

Ключевые слова: искусство тюркского мира, духовное наследие, казахское традиционное искусство, этнопедагогика, пространство и время, материя, теория относительности Эйнштейна, астрофизика.

Introduction. Traditional applied art of the Kazakh people originates from the art of the world of the peoples of nomadic Turkic origin.

In their works, scholars note that it was based on the culture of ancient Turkic tribes that inhabited our vast land, such as Sak, Uysun, Kypchak, Hun, Karluk. For example, S. Kasimanov said: "a set of creative arts, such as weaving, sewing, weaving, modeling, designing, fine arts, which are often used in folk life" (Kasimanov, 1995), and M. S. Mukanov said: "the basis of traditional folk art. It is impossible to progress without folk heritage" (Mukanov, 1979).

O. Zhanibekov argued that traditional art, the spiritual world of the people (ZHанибеков, 1965). As A. Seidimbek assumes, the way of life of indigenous nomads first of all performed a sign, messenger, distinguishing function with regard to such qualities as cauterization in the ears of born animals, burning in the number of animals, the presence of each genus of its own markings, tattooing on bodies with impregnation of black soot (the fact of the mound "Pazyryk"). This was followed by an established tradition among nomads - to express thoughts, express intentions with a certain object, expression (Sejdimbek, 1997).

Kazakh applied art has deep roots, as evidenced by academician A. Margulan: "There are reasons to believe that the folk art of Kazakhstan is in genetic connection with the art of the Saks, Uysuns, Huns and other peoples who inhabited the territory of Kazakhstan" (Margulan, 1986).

Currently, the preservation of the values of ethnic culture and its contribution to world culture is becoming important in the education of the younger generation. When creating an education system at a university, it is necessary to optimally combine the requirements, national characteristics of the world education system, national traditions, folk pedagogy, and the real capabilities of each region and university. Organization of the learning process in close contact with national traditions, customs based on the centuries-old culture of the Kazakh people (Orynbekov, 1996).

Spiritual heritage in the art of the Turkic world-space and time in the Kazakh traditional art expressiveness, sophistication, originality, stylistic features are collected in the yurt, ornaments and colors.

If we categorize space and time in this folk heritage, it begins with the geometric patterns of the Stone Age and the "animal symbol" of the Saca Age and finds traditional expression in contemporary national art.

Literature Review. Common space and time are studied in a number of works in terms of philosophical, ethnographic, folklore, national cultural heritage, applied art. Including the essence of space and time (I. Kant, Hegel), spiritual and cultural values of the existence of the nation, the aesthetic nature of art (A. Aytaly, B. Kazykhanova, B. Baizhigitov, etc.), folk cognition in the field of literary studies (A. Kodar, Sh. Ybraev, A. Seidimbek) the historical field of understanding is defined.

In the works of a number of scientists (G. S. Klyashtorny, B. Baizhigitov, t. Gabitov, A. Seidimbek, etc.) it is formulated that space and time are the source of the beginning of folk spiritual heritage, cognition-concept, reflection of existence, the world of infinity - worldview.

The concepts of space and time are abstractly reflected in Kazakh applied art. Its origin is evidenced by the works of scientists (A. Margulan, S. Kasimanov, etc.), which go back to the art of nomadic ancestors. In the analysis of historical data, several factors accounted for its formation and development:

1) the spiritual and cognitive basis of the artistic nature (calendar, Orkhon, etc. monuments having subject expression in symbols);

2) the triple structure of the world, the four folds of the world (the seventh heaven, the trinity of lands, and the underground or eagle, gray wolf, hearth, poplar, snakehead, four ears, etc.);

3) representations of the world, including earth, water, mountains, stones (reflected in the jewelry of tyumar, talisman, etc.), On the basis of which the meaningful features of space and time are formed: the structural system and colors of paint in nature.

Mainly, the history of artistic representation cannot be separated from the history of formation of ideas about time and space. It is not known when, where and how the reliefs depicted therein appeared. However, it is an "animal style", an eternal work of art, which throughout life acquired amazing imagination and honed skill, intertwined with life experience. The fact that these are the Saki, who inhabited the Great Steppe, is evidenced by the nobility, stylistic similarity, consonance of the subject in the way of making the objects found in different places, which have a special property and form a worldview system. They, on the one hand, possessed the power, foresight of various animals, caused the owner of this property to give, and on the other hand, served as symbols as a sign of animal worship. Thirdly, the worldview was the basis of folk education. Now let us dwell separately on the peculiarities of the concepts of time and space in the spiritual heritage in the art of the Turkic world.

Time is a measure of global development. He achieved Newton's single-family linear time with variable time depending on the relative single-family velocity of Einstein's world motion. Space: three-dimensional, homogeneous (equal to all points), isotropic (the same properties in any direction). Time: one-dimensional, homogeneous (equality of all moments of time), irreversible. By common properties, space and time are objective, universal (Ermekova, Stukalenko (2022).

Time is the measure of world progression. It achieved Newton's one-semester linear time with variable time depending on Einstein's relative one-semester velocity of world motion. The main time measurers day, week, year, century were united by our ancient ancestor in the calendar of natural phenomena. Cognitive, educational value has that 12 months in a calendar are named according to features of animals. For example, in the Turkic world the totem - Gray Wolf is depicted in the calendar in the image of a leopard. The symbol of our life today is to be a leopard. Proof of this is that the Gray Wolf at the Independence Monument brings up in future generations purposeful, determined character in search of reliable paths, conquering new passes and peaks, leading to the intended goal, incredible heroism, steadfastness, courage.

Materials and methods of research. An example of how nomads stuck out the dignity of space in time is the text of the Orkhon monuments. For example, "When my father Kagan died, my brother Kultegin was seven years old. When I was sixteen years old, my brother increased the number of Kagan's people. ... At the age of twenty-one we fought with Chacha Senun," (Ligaj, Ermekova, Bublikov 2023) Thus, the mapping of events with the age of the hero gives a limited, closed time. At the same time, events in systems of government are ordered in a cyclical system. In Tonukok, the first cycle is the preservation of Turkic peoples subordinated to nature, the second cycle is the unification, the unification of the surviving Turks. ...The last fourteenth cycle is the times when the Turks won wars for their country, for their land, by their

valiant deeds. However, time and space in ethnoculture outside the chronology and counting of years in Turkish monuments Turkologist grouped as follows, admiring the testimony of G. Klashtorny (Klyashtornyj, 2020) 1. Divine time - fate (predestination). 2. Eternity and the present. 3. Cosmogonic uakyt – the beginning of life. And space is earth-water, native country, native land, homeland.

The triple structure in the ancient Turkic worldview is reflected in mythological time and space. The upper part of the vertical space - Tengri, the central part - Umai, the lower part - ruled by the gods of courage. From this follows the understanding of our ancient ancestors in the worldview of the sky, the source of life, about the World. For example, in that said thought constitutes destiny. Because the myth: creation has destiny content in ethno-culture. The very Destiny of man passes between this heaven and Earth, in being.

The next dimension of time is eternity and the present, or the balance of the world. According to Turkic cognition eternal vision unites the concepts of country, blue, power. The supremacy of the Kazakh people with eternal qualities and power is sovereignty, independence. "Who will insult the Turkic people if they are not suppressed by Tengri from the sky, if they do not lose the land under them?" "from the lines we can understand that the Turkic people bequeathed unity, solidarity, happy life to descendants (Sejdimbek A.1997). This is largely due to the fact that yesterday's descendant of the "Eternal Blue" is the descendant of Kultegin - Kazakh, found his place in the ethno-culture, securing today our independence. And "eternal people", "eternal power" are sacral concepts denoting space and time.

Kultegin inscription is a monument of ancient Turkic writing. The Kultegin monument is an invaluable cultural treasure of the Turkic peoples. For example, the placement of the monument in the main building of the Eurasian National University named after L. N. Gumilev in Astana on May 18, 2001 shows how valuable the ancient Turkic scripts of the ancestors of the Kazakh people are. It is "eternity", a symbol of past life, continuity of present and future, connecting the concepts of country, power, blue. The highest breastplate of the University "Kultegin", which is one of the leading universities of Kazakhstan, today is awarded to famous persons of the country.

The third dimension of the beginning of world time is the beginning of life cosmogonic time. It is measured by the birth of the human race, the Great Turkic country in the space-time continuum. Nomads sought a way of life in the open air and focused on the breath of life. For example, "At the height of the blue Tengri, below, when the black earth was wounded, man was created between them. The origin of man at the top? Kagan Bumyn, Kagan Istemi sat. Shaped, possessed. It turns out that all four corners-enemies... "There is a deep subtext in the figurative expression [5], which conveys the worldview of the Turkish people. Heaven and earth migrated here, boundless, boundless expanses, where the ancestors of the Karapuz called the sky - grandfather, and the earth - the mother of life. And man was considered a descendant of this blue and earth. The blue sky, that is, the cosmos - a mighty force, breathing creatures, and the black earth - the golden cradle of mankind. In cosmogonic space, the sun and moon and stars are also one dimension of time. The Sun is the source of existence the power that nourishes the earth. Therefore, the Solar Circle is a symbol of eternal life, happiness, unity, oneness. The Kazakhs' pampering "My light", "My ray of sunshine", "My sun", "My shining", "Let it always shine like the sun", brought up a child from an early age on kindness, friendship, goodness.

The beginning of the star world was a means for Ironclad herders and passengers to navigate space in the vast steppes, and the pleiad weather is variable. This is what is used in today's farming. Gives ecological education to the younger generation. The star is directly connected with the fate of man. A shining star is equated with an extinguished shanyrak, a person who has left this world. It is a sign that human life is limited. Everyone's star is an indicator of happiness.

So the wish "may your star be higher" will also remain. So both life and death unfold in the space of the world. Being, the environment is limitless. It has no edge or limit, it is unknown when it appeared, an abstraction without dependence on consciousness. One of the images, phenomena in it is constantly moving, moving forward compared to time.

In astrophysics, the universe is a place accessible to humans for empirical observations. The universe is hundreds of millions of galaxies separated by millions of light-years of outer space. All these systems rotate around their axis with a period of hundreds of millions of years. Our Milky Way galaxy is part of a group that includes about 20 galaxies known as the local ones. The Milky Way consists of almost 200 billion stars with a thickened disk halo in the center with spiral branches (Ermekova, Stukalenko, 2022).

The sky - in runic inscriptions as part of the cosmos is blue, in the usual meaning of blue, is recognized as air. This means that the sky is divided into distant, high, close, where birds fly. And the earth – "in the concept of the writers of the texts was understood as a fourfold space, the edges of which were inhabited by peoples hostile to the Turks. To designate the boundaries of the world in runic used the term "corner".... the center (navel) of the world - pupil "Auliye Otjuken". Turks, who inhabited this land, went on a campaign "forward", "right", "left" to head the four corners of the world", - summarizes the Turkologist S. G. Klyashtorny [6]. In this sense, the world is recognized as a quadrangular flat space in the horizontal cosmological worldview. The space in the concepts of "native land", "ancestors", "land of fathers" are defined by feelings of love, veneration, preservation of the homeland, responsibility for it. As a result, it forms a sense of pride for the people, ethnos, arms Kazakhstan patriotism, national spirit, honor. The Türks also worshiped Umai-Ana, the patroness of home, shanyrak, hearth. From the lines in the Tonukok monument: "God, Umai, the holy land-water gave victory" the God who gave victory appears to the warriors (Klyashtornyj, 2020).

Umai has long had cognitive significance in beliefs. For example, let a baby save from a wish before he becomes a man, or "I will pass on to my mother Umai" during a long journey. In addition, the name of the art exhibition "Umai" testifies to the continuity of early art, crafts and serves to bring being to a high spiritual meaning in terms of beauty, artistic and aesthetic education.

The connection of earth and sky is reflected in the concept of Baiterek (poplar). Its flying head is oriented on seven rows, the trunk on the earth, the roots under the earth. Consequently, the world tree connects the high and middle worlds and the third world - the lower world. Baiterek's views are sculpted stones that forever spill over the sternum of the Great Steppe.

The human anatomy carved in stone formed a microcosmic system in the space-time continuum. The head of a person in it symbolizes mental ore, the sky above, the sun, the body - the earthly life in the center, the legs - the lower (perishable world) darkness, fear, darkness under the earth. Consequently, the statuettes serve as a link between heaven and earth - the world tree. The concept of Baiterek also depends on the person and gives a dialectal concept. Today, the father is the fruitful Baiterek, the golden pillar of a prosperous moral family, the supporter of the dynasty. The leaf is his offspring and the root is his ancestor.

Results and discussion. The yurt, which has transmitted today the ethics, traditions, worldview, aesthetic taste of the peoples of Turkic origin, is the first in Kazakh architecture. The consonance of the small model of the Universe with the big one is described by culturologist A. Seydimbek as follows: "In the nomadic worldview, the heavenly world is a blue dome - a shelter for all living beings. And the yurt is a small world, the "blue dome" of everyone. Therefore, the yurt represents a small world in the nomadic concept. Its base is a celestial dome with a blue border around it, and its inner-outer decoration makes it seem as if it does not take away the graceful nature " (Sejdimbek, 1997) The world module, which summarizes the structural structure of the creation, also characterizes the manifestations of

ecological space and time. At night, looking at the path of the sun during the day, he determined the time, and at night he marked the direction from the stars in the sky. Cognitive mastering of spatial and temporal demarcation through astronomical predictions of nomads is one of the main tools in ecological education of the modern generation.

From the cognitive point of view, as in the big world, the yurt is subdivided into three, and the slanted yurt is subdivided into south, west, north, east or top, right, left, side, door. While the pattern of water afloat from the shanyrak is a link between the small world and the big world, the pattern of the quadrilateral in it is an allusion to the four corners of the world. People say: "Long live Shanyrak!", "Don't shake Shanyrak", "Let the fire of your hearth not go out!" wishes educate the generation to well-being, unity, cohesion in the family.

If the yurt is the first in Kazakh architecture, ornaments are the main symbol in all kinds of applied art. It is closely connected with the life of the people, throughout its life it has accumulated national identity, stylistic sophistication, traditions and customs. It can be clearly observed in graphic, figurative, stylized figures, symbolic signs of fantastic bodies, preserved from the period of worship of the forces of nature. Space and time in ornaments consisting of lines, rhythms, shapes, forms, species, colors, convey the spiritual soul of the people. Therefore, ornament is "...a source of ancient art history, a symbol of life, a symbolic tone of the times" (Samuratova, 2016).

Space and time are reflected in cosmological expressions, namely the images of the Sun, the amulet, the s-expression and the four ears. The most common basic images are solarium (day) circles. For example, body-shaped, handshake, human-like images are found on the stone surface, based on the cosmic base, the main sun god. Here, in ecogenetic space and time, man and nature are one and cannot be separated from the natural environment.

The Nomad, learning from the Sun, was in perpetual motion against the background of the blue sky. The image of the sun is a continuous life path for the succession of generations. It repeats itself many times and turns into weeks and months, years and centuries. Life continues with generation to generation in tradition and tradition to generation. However, human life is limited. The happiest time of man is measured by the concepts of "day born", the transition from the world is "day over". The measurement is time. Time is the eternal, continuous journey of life. At the same time, the path of man is reflected in the ancient Latin letter s, i.e. zigzag patterns. Sometimes zigzag lines denote water, flow and serve as a break between carvings. In today's everyday life it has a cognitive meaning, as if indicating the life path of a person who passes through many passes, rivers, sometimes gets lost, sometimes finds the right path. Cognitively meaning of the sun as a circular, endless circle, unbreakable life path has an educational value. For example, one round sign "sun" is "let our day be clear", and double round sign brings up kindness and good manners. And the cognitive meaning of the concepts of space and time in the ornamentation of amulets is the integrity of earth, water, and sky (Mұhtaruly, 1985).

In the Old Turkic language, the word "tuma ier" meant "native land". "Tumar" comes from the combination of these words "tuma ier". In the past, native land was put into Amulet. It comes from the belief that "Mother Earth care" will return to the native land. This notion still exists among the Kazakhs.

Images with four ear carved Crosses arranged in four corners were first discovered in the Noin-Velikiy monuments and then in the fifth Pazyryk barrow. Now in the Kazakh Color felt there are world outlook signs reflecting the phenomenon, the four germs of the world. Consequently, on the basis of interpretation of the concepts of space and time in expressions relating to land, water, plants, the generation formed a national consciousness to the nature of the native land, Atameken. One of the signs that determine the national character of space and

time in applied art are colors of paint (shades). The depth of harmony of coloring, originality of carving types condition the artistic existence and reality of ethno-cultural heritage, which generates a certain thought. For example, the world of clear sky, Tengri is blue, abundance and truth, right attention and truth is white, fire, happy life is red, the sign of the Sun is reflected in yellow colors. First, the nomads subjugated the unique tones of animals and cognition of natural phenomena that were the source of life. For example, depending on the horse grouped shades of white, gray, shubar, mottled, burgundy, brown, black, blue, bluish, reddish, redhead, etc., depending on the horse. Varieties of thousands of herds were distinguished by the tone of the horses. Secondly, each nation has its own coloring. For example, in Old Turkic language "red" means south, "black" means north, "white" means west, "blue" means east. In some cases, the west is marked black, the east is yellow, the negative is red, and the central core is blue. The most sacred concept, the divine color is blue. Because the nomads worshipped the Celestial Kingdom - the heavenly deity. They also called themselves blue Turks and were considered sons of heaven. Because blue is holy, it comes to say that it is only equal to itself, such as blue and blue. In our language they say "kokpenbek."

The meanings of different turquoise color can be noticed in the names of land and water. One of the hottest places of our Motherland, a beautiful region, had the names "Kokshetau", and Balkhash, located in the Saryarka land, had the names "Kakshe Teniz" (Samuratova, 2022)

Sun, eagle, ornament and shanyrak, star, winged horse are reflected in the national symbols of Kazakh people. Shanyrak and the sun on the flag symbolize the unity of existing peoples, happy, rich life of our independent state (Samuratova, 2019). The image of the eagle is the first thing for the Kazakh people. Secondly, it brings up patriotic feelings, which can show strength to defeat those who want to stand up and stand up. The image of two horses on the coat of arms educates the peoples who inhabited the Kazakh country, traits characteristic of equestrian livestock, elegance, nobility. And the expression of ram's horn and pentagonal star bring up the images of sharpness and indefatigability.

Conclusions. First, studying the inner mystery of Kazakh traditional applied art. Secondly, studying the past through time, defining the present and orienting to the future. Thirdly, spatial representations form modern concepts of "ancestors", "homeland", "my people, my land", "native place". Consequently, space and time in Kazakh traditional art are the spiritual heritage of our ancestors in the art of the Turkic world.

The centuries - old folk pedagogy of the Kazakh people reveals the historical and natural conditions of life, way of life, traditions, and human relationships. Pedagogical values have a place in many works of folk art, customs and behavior.

In turn, such historical information ensures the continuity of generations, bringing students in the field of art closer to the history of the wisdom of their country.

Familiarity with the history of the concepts of space and time in traditional Kazakh art is a source of ethnopedagogic education for students entering the art. To avoid confusion in modern pseudosciences, the place occupied by ethnopedagogy is important for a young art historian.

Acknowledgments. "This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19676893" Educational and methodological provision of traditional Kazakh art and modern art studies").

References

- Қасиманов С. (1995). Қазақ халқының қолөнері. – Алматы: Қазақстан. – 240 б. // Қасиманов С. (1995) Қазақ халқының қолөнері. – Алматы: Қазақстан. – С. 240.
- Муканов М.С. (1979). Казахские домашние художественные ремесла. –А.: Казахстан, С.121. // Mukanov M.S. (1979) Kazahskie domashnie hudozhestvennyye remesla. – А.: Kazahstan. – С. 121.

- Жәнібеков Ө. (1965). Жолайрықта. – Алматы: Рауан. – С.109 б. // Zhәnibekov Ө. (1965) Zholajryқта. – Алматы: Rauan. – S.109 b.
- Сейдімбек А.(1997). Қазақ әлемі: этномәдени пайымдау. Оқу құралы. – Алматы: Санат. – С. 464 б. // Sejdimbek A.(1997). Қазақ әлемі: etnomәdeni pajymdau. Оқу құралы. – Алматы: Sanat. – S. 464 b.
- Маргулан А.Х. (1986).Казакское народное прикладное искусство. – Алма-Ата: – Өнер. – Т. 1. – С. 256 // Margulan A.H. (1986).Kazahskoe narodnoe prikladnoe iskusstvo. – Alma-Ata: – Өner. – Т. 1. – S. 256.
- Кляшторный С.Г. (2000). Представление о времени и пространстве вдревнетюркских памятниках. Материалы международной научно-теоретическойконференции "Древнетюркская цивилизация: памятники письменности", посвященной 10-летию независимости Республики Казахстан. – Алматы. – С. 2 // Klyashtornyj S.G. (2000) Predstavlenie o vremeni i prostranstve v drevnetyurkskih pamyatnikah. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-teoreticheskojkonferencii "Drevnetyurkskaya civilizaciya: pamyatniki pis'mennosti",posvyashchennoj 10-letiyu nezavisimosti Respubliki Kazahstan. – Алматы. – S. 2.
- Ежелгі дәуір әдебиеті. (1991). Жоғары оқу орындарының филология факультеттеріне арналған хрестоматиялық оқу құралы. (ҚұрастырғанА.Қыраубаева.). – Алматы: Ана тілі,С.280. // Ezhelgi дәuir әdebietі. (1991) ZHоғары оқу орындарының filologiya fakul'tetterine арналған hrestomatиялық оқу құралы. (ҚұрастырғанА.Құраубаева.). – Алматы: Ана тілі,С.280.
- Орынбеков М. (1996). Ежелгі қазақтың дүниетанымы. – Алматы; Ғылым. – С. 168 // Orynbekov M. (1996) Ezhelgi kazaktың дүniетанымy. – Алматы; Fылым. – S. 168.
- Ермекова Ж.К., Стукаленко Н.М. (2022). О значимости этнопедагогического подхода в профессиональной подготовке учителей. Доклады КАО. – Астана. – № 2, 2022. – С. 24-28 // Ermekova ZH.K., Stukalenko N.M. (2022) Doklady O znachimosti etnopedagogicheskogo podhoda v professional'noj podgotovke uchitelej. KAO. – Astana. – № 2. – S. 24-28.
- Лигай М.А., Ермекова Ж.К., Бубликов С.В. (2023). Теория и практика развития познавательного интереса к фундаментальным и прикладным наукам. Астана: ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. – 201 с. // Ligaj M.A., Ermekova ZH.K., Bublikov S.V. (2023). Teoriya i praktika razvitiya poznavatel'nogo interesa k fundamental'nyum i prikladnym naukam. Astana: ENU im. L.N.Gumileva. – 201 s.
- Кляшторный С.Г. (2020). Мифологические сюжеты в древнетюркских памятниках // Тюркологический сборник. - М. // Klyashtornyj S.G.(2020). Mifologicheskie syuzhety v drevnetyurkskih pamyatnikah // Tyurkologicheskij sbornik. - M.
- Samuratova T.K. (2016). Space and Time as the Fundamental Elements of Kazakh World Image Mediterranean Journal of Social Sciences MCSER Publishing, Rome-Italy. Vol 6 No 5 S2 September. – S.127-132.
- Мұхтарұлы С. (1985). Атамекен. Тарихи-ғұмырнамалық хикаят. – Алматы: Өнер, 1985. – С. 264 б. // Mұhtaruly S. (1985). Atameken. Tarihi-ғұмырnamalyk hikayat. – Алматы: -Өнер, 1985. – S. 264b.
- Samuratova T.K. (2023). Formirovanie hudozhestvennoj kultury na osnove izobrazitel'nogo iskusstva. Monografiya. – Astana: ENU. – 300 s.
- Самуратова Т.К. (2022). Искусство казахстана. Учебное пособие. – Астана: ЕНУ, 2022. – 210 с. // Samuratova T.K. (2022). Iskusstvo kazahstana. Uchebnoe posobie. – Astana: ENU. – 210s.
- Samuratova T.K. (2019). Energy efficient environment in architecture. E3S Web of Conferences 116, 00031 0,7 6.6.

Information about authors

Samuratova Tatigul – Doctor of Pedagogical Sciences, Assistant Professor L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Samyratovatk@mail.ru, ORCID: .org/0000-0001-5390-9451, 87078529380

Akhmetova Abdik – Doctor PhD, L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, email: gulzhanatakhmet@gmail.com. ORCID:org/ 0000-0002-9437-2133 87071431782

Omarbekova Nasgul – Master's. Karaganda Medical University NC JSC, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nas_nk@mail.ru, ORCID:org // 0000-0001-7353-7501, +7 7017950725

Ermekova Zhadyra – Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Professor L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhadyra-ermekova@mail.ru. ORCID:org/0000-0002-7706-3160. +7 701 680 6298

Lunev Ilya – Master's student, of ACF department Faculty of Eurasian University after Gumilev, Astana, e-mail: ilyalunev.kz@gmail.com, ORCID:org //0009-0003-1584-912X, +7 775 448 6270

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_288
IRSTI 67.09.33

Y.Y. Khamza¹, M.T. Zhuginissov¹, Zh.O. Zhumadilova¹, V.P. Selyaev²

¹Satbayev University, 050043, Almaty, Kazakhstan

E-mail: y.khamza@satbayev.university*

E-mail: m.zhuginissov@satbayev.university

E-mail: z.zhumadilova@satbayev.university

²Ogarev Mordovia State University, 430005, Saransk, Russian Federation

E-mail: ntorm80@mail.ru

THE IMPACT OF VOLCANIC TUFF AGGREGATE AND ASH ON THE CHARACTERISTICS OF LIGHTWEIGHT STRUCTURAL

ТУФ ТОЛТЫРҒЫШЫ МЕН КҮЛДІҢ ЖЕҢІЛ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ БЕТОННЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ТУФА И ПЕПЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Abstract. A significant challenge in the construction industry is developing cost-effective building materials that exceed the performance of existing options. This article explores the use of lightweight concrete incorporating volcanic tuff and ash. Through a review of scientific literature and experimental studies, the advantages of lightweight concrete, such as reduced weight and thermal conductivity, were identified. Laboratory tests indicated that the compressive strength of all concrete cube samples decreased by approximately 20% compared to the control sample during the hardening period. The study also observed a reduction in thermal conductivity and average density of the concrete samples. The research revealed the potential for producing lightweight concrete with volcanic tuff and ash, achieving a compressive strength of 27.8 MPa and an average density of 1850.0 kg/m³, with thermal conductivity values ranging from 0.718 to 0.812 W/m·K.

Keywords: Thermal conductivity, tuff, ash, compressive strength, porosity, aggregates

Аңдатпа. Құрылыс индустриясындағы маңызды мәселе – қолданыстағы нұсқалардың өнімділігінен асатын үнемді құрылыс материалдарын жасау. Бұл мақалада жанартаулық туф пен күлді қамтитын жеңіл бетонды пайдалану зерттеледі. Ғылыми еңбектерді шолу және тәжірибелік зерттеулер арқылы жеңіл бетонның салмағының төмендеуі және жылу өткізгіштігі сияқты артықшылықтары анықталды. Зертханалық сынақтар барлық бетон текше үлгілерінің қысу беріктігінің қатаю кезеңінде бақылау үлгісімен салыстырғанда шамамен 20 %-ға төмендегенін көрсетті. Зерттеу сонымен қатар бетон үлгілерінің жылу өткізгіштігі мен орташа тығыздығының төмендеуін байқады. Зерттеулер жылу өткізгіштік көрсеткіштері 0,718-ден 0,812 Вт/м·К-ге дейінгі аралықтағы қысымға төзімділігі 27,8 МПа және орташа тығыздығы 1850,0 кг/м³ болатын жанартаулық туф пен күлді жеңіл бетонды алу мүмкіндігін анықтады.

Түйін сөздер: Жылу өткізгіштік, туф, күл, сығымдауға беріктік, кеуектілік, агрегаттар

Аннотация. Значительной проблемой в строительной отрасли является разработка экономически эффективных строительных материалов, которые превосходят эксплуатационные характеристики существующих вариантов. В этой статье рассматривается использование легкого бетона, включающего вулканический туф и пепел. Благодаря обзору научной литературы и экспериментальным исследованиям были выявлены преимущества легкого бетона, такие как уменьшенный вес и теплопроводность. Лабораторные испытания показали, что прочность на сжатие всех образцов бетонных кубов снизилась примерно на 20 % по сравнению с контрольным образцом в период затвердевания. Исследование также наблюдало снижение теплопроводности и средней плотности образцов бетона. Исследование выявило

потенциал для производства легкого бетона с вулканическим туфом и пеплом, достигающего прочности на сжатие 27,8 МПа и средней плотности 1850,0 кг/м³, со значениями теплопроводности в диапазоне от 0,718 до 0,812 Вт/м·К.

Ключевые слова: Теплопроводность, туф, зола, прочность на сжатие, пористость, заполнители.

Introduction. Recently, lightweight concrete has gained popularity in construction due to its various advantages such as low weight, low thermal conductivity and ease of use. The construction industry is faced with the urgent task of developing low-cost building materials that can surpass technical specifications. As a solution, scientific publications and research have explored the possibility of using volcanic tuff and ash as fillers in the production of lightweight concretes. This study showed that the use of this material makes it possible to obtain a harder substance with higher compressive strength and lower thermal conductivity.

The purpose of this article is to determine whether lightweight construction concrete with volcanic tuff and ash can be used as a filler. The main advantage of the material is the minimum load on the foundation of an architectural object. During restoration work, it is recommended to use light concrete and create a decorative layer on existing surfaces. Building blocks made of porous material require additional treatment with plaster compositions that increase the thermal insulation properties of the building. Lightweight concrete is rightfully considered a full-fledged replacement for brick, so it is actively used in the construction of walls of various real estate.

According to researches of Romanovskaya (1995) and Alfimova (2012) volcanic rocks have the potential to produce lightweight concrete, especially lightweight construction concrete, as raw materials for the production of lightweight concrete, due to their accessibility and simple manufacturing technology for various construction purposes. Emphasize the importance of using volcanic rocks as fine and coarse fillers in concrete with various binders, while the importance of using volcanogenic rocks as fine mineral additives and composite binder components (Pechersky & Bituev, 2010 and Bychkov, 2013).

Research of Hezhev et al. (2011) shows that the use of volcanic tuff in various concretes can lead to high hydraulic activity of small fractions, which can positively affect the strength properties of cement stone during hydration. Meanwhile, Antonov, Luzin and Belyaev (2010) says the main attention is paid to the use of volcanic rocks containing perlite, volcanic tuffs and their waste as fillers in the production of building materials for various purposes, including heat and sound insulation materials, building and thermal insulation concretes and bricks.

Reference (Amin & Abdelsalam, 2019) indicates that concrete containing ash has a higher compressive strength than conventional concrete. It was found that the optimal content of Portland cement in concrete is 450 kg/m³, and the rate of tensile strength decreases with increasing cement content. Finally, in the article of Fang, Ho, Tu and Zhang (2018) it was found that the compressive strength of concrete with ash increases rapidly at the beginning of the 28th day, but after that the rate of growth of compressive strength slows down. The study also showed that the compressive strength of concrete increases with an increase in the amount of slag.

According to research of Bouzoubaâ and Foo (2005) the use of ash ash as a substitute for Portland cement in concrete affects its properties and durability, and the degree of exposure depends on the type and amount of ash used. If low-calcium laxative ash is used in concrete instead of Portland cement, this can reduce temperature rise and prevent cracking due to high temperature gradients in high-density concrete. However, ash with a high calcium content can increase the temperature depending on the total alkali content. If CH-type fly ash is used to reduce the temperature of concrete, concrete mixtures should be examined for this special

property. Concrete containing ash and slag in proportions of less than 20-30% and 25-35%, respectively, is generally considered the equivalent of Portland cement concrete in terms of production, curing and quality control standards. For concrete with a high ash and slag content, additional measures are required, and the type of curing required for each exposure class is indicated, as well as recommendations for production and quality control. Following this best practice guide, the owner can produce strong and durable concrete structures for both small (conventional) and large volumes of work. In general, volcanic tuff and ash wastes are widely used in the production of building materials and are suitable for the production of lightweight concrete for various purposes, for example for structural, structural, thermal, thermal and sound insulation and special purposes. Building materials made from mixtures with volcanic tuff and ash may match or exceed the properties of traditional raw materials.

Materials. Cement. For all mixtures, the experiment used Portland cement CEM I 32.5 H, which was studied in accordance with European Standard EN 197-1:2000. The cement was obtained from the Heidelberg cement plant, and the exact amount needed for the entire experiment was immediately calculated and purchased to obtain reliable and accurate results. To prevent possible damage, the cement was stored in a dry and moisture-proof place.

Tuff aggregate. Volcanic tuff with certain physical properties (specific gravity 2.67, volume weight 1710 kg/m³ and modulus size 2.85) was used as a large aggregate in this experiment. Fraction (size) 5-10 mm, which was studied in accordance with EN 12620:2002+A1:2008.

Tuff sand. Volcanic tuff sand fraction 1.25-5 mm was used as fine aggregate. Tuff sand was obtained by crushing and sieving tuff stone in a crusher.

Ash. Ash from the TPP-3 in Almaty was used as a fine-grained filler with certain physical and mechanical properties, including an average density range from 2.24 to 2.48 g/cm³ and a density of 2.60 g/cm³. It was found that the porosity of slag grains ranges from 7% to 12%, and the volume density ranges from 1350 to 1490 kg / m³, depending on the granulometry. Table 1 provides detailed data on the granulometric composition of the fine filler produced at the Almaty TPP-3.

Table 1. Granulometric composition of fine ash aggregate

| Residue on sieves | Sieve hole sizes | | | | | Passed through a sieve |
|-------------------|------------------|------|------|-------|------|------------------------|
| | 2.5 | 1.25 | 0.63 | 0.315 | 0.16 | |
| On each, % | 45.5 | 17.5 | 18.5 | 9.5 | 5.4 | 3.6 |
| Total, % | 45.5 | 63.0 | 81.5 | 91.0 | 96.4 | 100 |

Note – compiled by the authors

Basalt fiber. Basalt fiber for concrete was used as a reinforcing additive. Fiber with a diameter of 40 microns has 100% resistance to water, 96% to alkali, 94% to acid. The fiber modulus is in the range from 7 to 60 GPa, tensile strength is from 600 to 3500 MPa.

Superplasticizer. To improve the rheology of concrete mixtures, a highly effective aqueous super plasticizing solution modified with a polycarboxylate-based additive (viscocreton) was used. Viscose concrete conforms to the standard (American Society for Testing and Materials, 2017) with a specific gravity of 1.12. The dosage was about 3.5% to compensate for the decrease in the amount of water and to increase the manufacturability of mixtures with a cement content of 400 and 450 kg/m³.

Water. According to the standard, drinking water from Almaty was used in the manufacture of test samples during an experimental study. The mixed water was obtained directly from the water supply network without any treatment and was used in the production process. For mixtures with a cement content, the ratio of water to cement material (w/c) was set to 0.55.

Methods. Chemical analysis. Automatic X-ray diffractometric analysis was performed using a DRON 3.0 diffractometer equipped with a β filter and CuK α radiation. The diffractograms were obtained under the following conditions: voltage 35 kV, current 20 mA, detector speed 20 and 2 degrees per minute. X-ray phase analysis was performed using the method of equal masses and artificial mixtures, and the quantitative ratios of crystalline phases were measured using a semi-quantitative method. Diffractograms of powder samples were obtained using International Centre for Diffraction Data.: Powder diffraction file (PDF 2) and diffractograms of pure minerals. The table included all types of impurities that were identified due to low concentrations, the presence of only 1-2 diffraction reflections, lack of data on chemical composition or weak oxidation.

Mixture proportions. In this study, 5 compositions were prepared. The amount of cement varied from 300 to 450 gramm. Volcanic tuff and ash were used in all series as filler substitutes in various ratios, with the exception of control ones. The mixtures in each mixture were classified as follows: one control mixture; four mixtures containing ash and volcanic tuff as a fine and coarse filler. The ratio of small and large fillers varied from 1.25:1. The mixtures were designed for a consumption of 0.55 W/C. A superplasticizer in the amount of 3.5% binder was added to the concrete to compensate for the reduced amount of water. The proportions of the compositions are given in Table 2.

Table 2. Composition of lightweight concrete with tuff with different ratios of fine and coarse aggregate

| № | Material consumption kg/m ³ | | | | |
|----|--|--------|-------------------|------------------------|----------------------|
| | Cement, g | Ash, g | Tuff sand (TS), g | Tuff aggregate (TA), g | Basalt fiber (BF), g |
| CS | 550 | - | 700 | 600 | 3 |
| M1 | 300 | 250 | 700 | 600 | 3 |
| M2 | 350 | 200 | 700 | 600 | 3 |
| M3 | 400 | 150 | 700 | 600 | 3 |
| M4 | 450 | 100 | 700 | 600 | 3 |

Note – compiled by the authors

The stages of experimental mixing are described as follows: tuff sand (TS), tuff aggregate (TA) and ash were first mixed for 1 minute. Then cement materials and basalt fiber (BF) were also added, and these quantities were mixed for 4 minutes. During the mixing process, water was added to the mixture by adding a superplasticizer to it. The mixing process then continued for 3 minutes. The resulting light concrete mixture was poured into cubic molds measuring 10x10x10 cm. A day later, the light concrete samples were removed from the molds and placed in a curing bath at a temperature of +20 °C for a curing time of 7 and 28 days.

Crushing capacity. To determine the crushing capacity of volcanic tuff aggregate (TA) according to Government Standart (GOST 8269.0-97, 1997), it is necessary to sift a TA through a standard set of sieves and divide into fractions. Then the dry grains are placed in a special cylinder and pressed under a hydraulic press, gradually increasing the load. The TA samples are weighed and, depending on the fraction, sieved through a sieve.

As a result, the strength of the materials is characterized by the degree of shreddability. It is usually designated by the letter "M", and a number is written next to it, the larger it is, the more strange the aggregate.

To increase the pulverizability, TA was heat treated in a muffle furnace SNOL 6.7 / 1300 at temperatures of 600, 650 and 700 °C. For comparison, the samples before and after heat treatment were subjected to crushing tests at a load of 200 kN on a hydraulic press. In Figure 1, we can observe the firing and crushability testing processes of volcanic tuff.



Figure 1. a) firing of volcanic tuff in a muffle furnace;
b) crush testing of volcanic tuff on a hydraulic press

Note – compiled by the authors

Compressive strength. The strength of concrete was measured by testing cubic samples after 7 and 28 days. The compressive strength of the samples was determined in accordance with the directives (European Committee for Standardization, 2009). Samples measuring 100x100x100 mm were manufactured and tested on a «Pilot 4, Controls» hydraulic press.

Thermal conductivity. The thermal conductivity of lightweight tuff concrete was measured using a thermal conductivity coefficient based on the ASTM C 1363 standard (American Society for Testing and Materials, 2019). The test is based on measuring the temperature of both sides of the samples placed between the heater and the laboratory environment at 65 °C, compared with a reference material with known thermal conductivity. To ensure the accuracy of measurements, the heat flow in stationary conditions is determined by the thermal conductivity of the sample, as well as the heat transfer between the air and the walls. This usually involves measuring about 3-4 hours after the start of the experiment. In this case, 10 samples with a size of 250x250x35 mm were prepared to determine the thermal conductivity.

Results and discussion.

Chemical analysis. This study presents the results of research on the development of lightweight concrete compositions based on volcanic tuff and TPP-3 ash obtained during the extraction of volcanic tuff and thermal waste. They are of particular interest for the production of lightweight concrete based on it.

The volcanic tuff found in the Chunja region is characterized by a yellowish or orange-brownish color and consists of fragments of different sizes. The rock mainly consists of loose compressed pumice, the color of which varies from light brown to brownish-reddish, as well as other lithoclasts such as basalt and other volcanic debris, the diameter of which can vary from a few millimeters to 5-7 centimeters, and in some cases even more (Zhumadilova, Zhuginissov, & Khamza, 2021).

Semi-quantitative X-ray diffraction analysis revealed that the tuff rock contains the following minerals: kaolinite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ – 24.4%; sanidine $(\text{K}_{0.831}\text{Na}_{0.169})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ – 29.2%; zeolite $\text{Na}_{5.68}\text{Ca}_{1.52}(\text{Al}_{8.6}\text{Si}_{27.4}\text{O}_{72})(\text{H}_2\text{O})_{21.4}$ – 23.3%; kyanite $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$ – 14.2%; calcite $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ – 7.3%; mica $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ – 1.5%. In Picture 2 we can see the diffractogram of volcanic tuff from Chunja region, which was used in our samples.

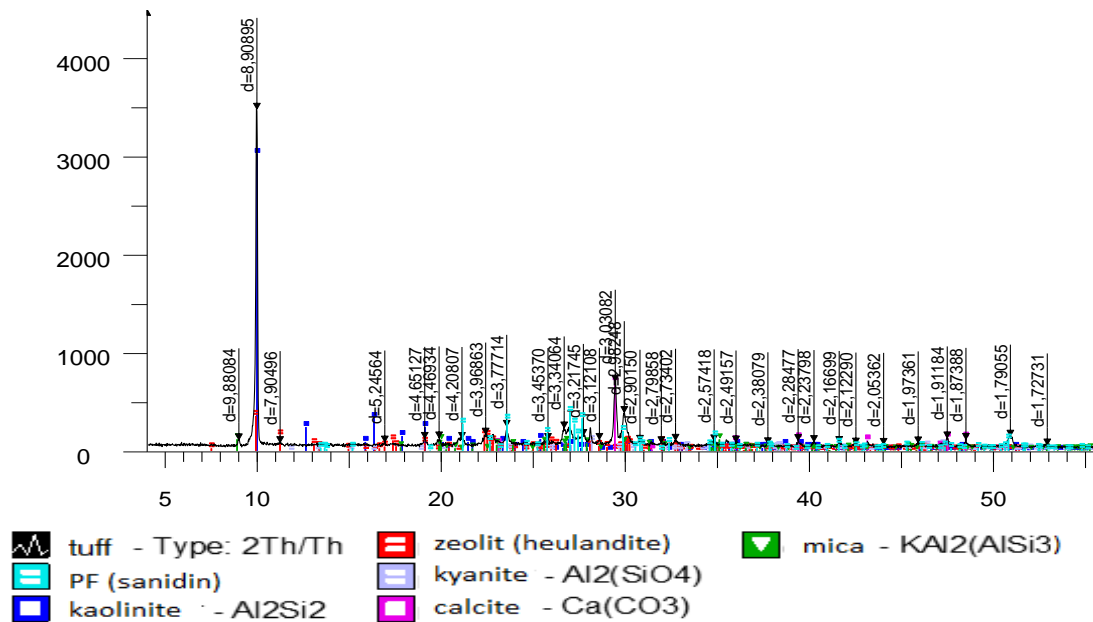


Figure 2. Diffractogram of volcanic tuff

Note – compiled by the authors on the basis of (Zhumadilova, Zhuginissov, & Khamza, 2021)

The chemical structure of the tuff was determined by local mass spectral analysis using an electronic measuring device JSTHI-731. Table 3 shows the results of diffractometric analysis of volcanic tuff.

Table 3. X-ray diffractometric analysis of volcanic tuff

| Spectrum | O | Na | Mg | Al | Si | K | Ca | Ti | Mn | Fe |
|----------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Average | 49.50 | 2.58 | 0.39 | 7.29 | 33.04 | 4.15 | 1.64 | 0.09 | 0.19 | 1.11 |

Note – compiled by the authors on the basis of (Zhumadilova, Zhuginissov, & Khamza, 2021)

The chemical composition of ash is determined mainly by the composition of the burned fuel, but its content of combustibles (primarily – carbon) depends on the completeness of fuel combustion, and some other elements increases with decreasing particle size of ash. During combustion of various grades of solid fuels changes in a fairly wide range, %: SiO₂ 10 – 68; Al₂O₃ 10 – 40; Fe₂O₃ 2 – 30; CuO 2 – 70; MgO 0 – 10; Na₂O + K₂O =0 – 10. In addition, the ash contains small amounts of compounds of germanium, vanadium, arsenic, mercury, beryllium, fluorides, also partially passing into water. Carcinogenic substances from fuel combustion can also transfer into water. Table 4 shows the X-ray spectral analysis of the ash from TPP-3.

Table 4. X-ray spectral analysis of TPP-3 ash

| Sample | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₂ | SiO ₂ | P ₂ O ₂ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ |
|---------|-------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------|------------------|------|--------------------------------|-----------------|
| Average | 0.33 | 0.45 | 31.71 | 57.03 | 0.10 | 1.10 | 1.12 | 1.16 | 0.02 | 1.66 | 0.12 |

Note – compiled by the authors on the basis of (Zhumadilova, Zhuginissov, & Khamza, 2021)

Crushing capacity. Determination of the crushability of TA was carried out on a hydraulic press in a cylinder before and after firing in a muffle furnace. Firing in a muffle furnace was carried out at three different temperatures: 600, 650 and 700 °C.

After loading into a hydraulic press, the TA in the cylinder was sifted through a sieve with 2.5 mm holes. Depending on the percentage of the material passed through the sieve, the degree of grinding and changes after firing were determined.

As you can see in Figure 3, the weight loss after crushing unburned material passed through a sieve is 22%. This corresponds to the standard crushability class M800. We also see that for heat-treated samples, the weight loss is less than 20%. At a temperature of 600 °C, the amount of material passed through the sieve is 19.2%, at a temperature of 650 °C and 700 °C, respectively, 17.9% and 18%. As we can see, after firing, we observe an increase in strength in all samples. But at all three firing temperatures, there is not much difference. An increase in strength in all three cases to the crushability grade M1000, which should further affect the strength of concrete samples.

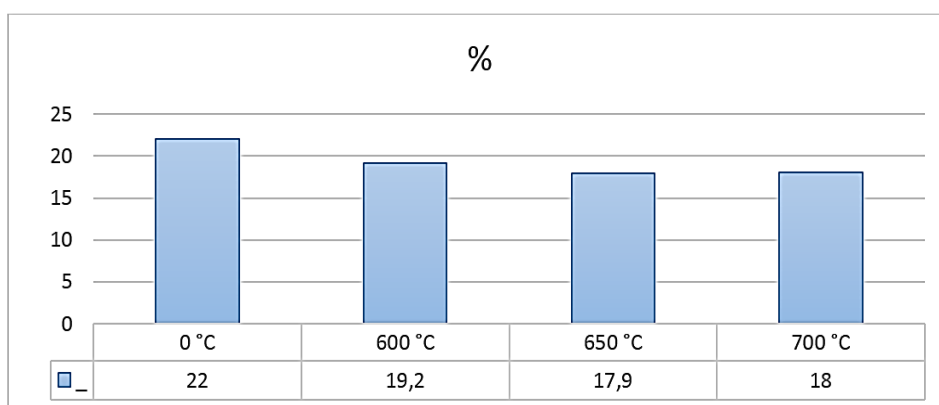


Figure 3. Indicators of aggregate mass loss from tuff after crushing

Note – compiled by the authors

Compressive Strength. The test results of three cubes were obtained to determine the compressive strength of each concrete mix. Compressive strength tests were conducted in two different age groups: 7 and 28 days. Table 5 shows that the compressive strength increased by about 25% after 28 days compared to the strength after 7 days. Table 5 shows the compressive strength before and after firing of tuff aggregate at 7 days and 28 days old samples. Also, we can observe the average density values.

Table 5. Results of compressive strength and average density before and after firing of tuff aggregate

| No. | Compressive strength, MPa | | Compressive strength after heat treatment at 650 °C, MPa | | ρ , kg/m ³ | ρ after heat treatment at 650 °C, kg/m ³ |
|-----|---------------------------|---------|--|---------|----------------------------|--|
| | 7 days | 28 days | 7 days | 28 days | | |
| CS | 21.5 | 32.6 | 24.2 | 34.5 | 2378.0 | – |
| M1 | 16.8 | 23.8 | 18.9 | 24.9 | 1880.5 | 1850.0 |
| M2 | 19.2 | 25.3 | 20.6 | 26.3 | 1891.6 | 1877.2 |
| M3 | 19.6 | 25.9 | 21.8 | 27.5 | 1911.2 | 1989.3 |
| M4 | 20.3 | 26.7 | 23.6 | 27.8 | 1902.3 | 1990.0 |

Note – compiled by the authors

The compressive strength of all concrete mixtures decreased in the period from 7 to 28 days, on average by about 20%. Overall, these results indicate that the addition of ash decreased the compressive strength performance of lightweight tuff concrete.

Figure 4 shows the effect of volcanic tuff and ash on compressive strength in various age groups. The percentage of downfall after 28 days was approximately 21, 22 and 17% for mixtures M1, M2, M3 and M4 compared to the control sample (CS).

As we can see from the above data, samples with volcanic tuff and ash in the composition have a lower compressive strength between the ages of 7 and 28 days and a lower average density compared to conventional heavy concrete. Compositions of lightweight concrete with volcanic tuff after heat treatment at 650 °C in a muffle furnace also have lower compressive strength than samples that have not been heat treated. In particular, the M4 composition has the highest compressive strength of 27.8 MPa and an average density of 1989.3 kg/m³ at the age of 28 days. Picture 4 clearly shows us the graphs of strength increase of specimens after firing of ash aggregate.

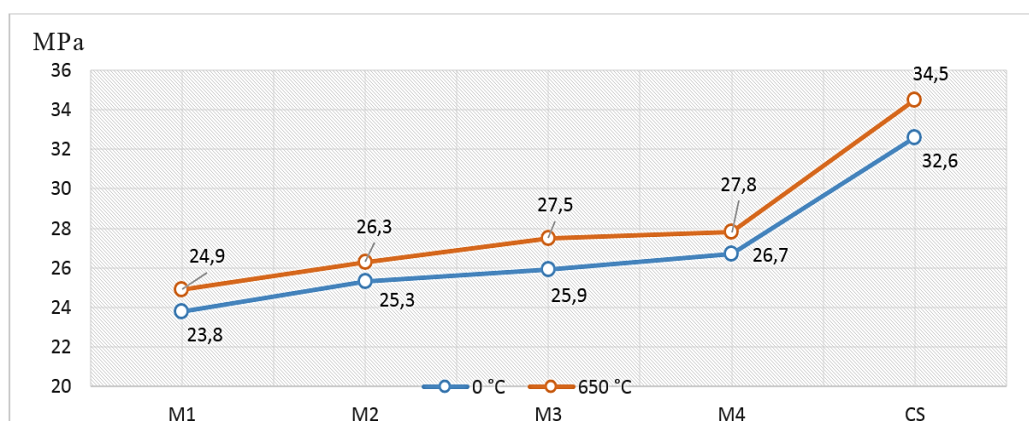


Figure 4. Compressive strength values of specimens with and without heat treated aggregate

Note – compiled by the authors

In the Figure 4, you can also see an increase in the compressive strength of the tested samples after heat treatment of TA in a muffle furnace in all compositions. In all samples, we observe an increase in compressive strength by 10-15%.

Thermal conductivity. Porosity plays an important role in the thermal conductivity of all materials. Stationary state and temporary heat transfer are considered as different conditions of heat transfer in materials. A stationary state is a constant state of heat transfer in which the heat transfer temperature or heat flow is independent of time. A time-dependent transient is when the temperature changes over time (Bindiganavile, Batool, & Suresh, 2012).

Concrete is a heterogeneous and porous solid material. In a concrete material, heat transfer at normal operating temperatures is primarily due to thermal conductivity. The properties of concrete are influenced by the spatial distribution and volume ratio of filler, water, cement and voids. Recesses in concrete have an important effect on the mechanical and thermal properties of concrete. A change in the specific physical properties of concrete leads to different values of thermal conductivity (Chung, Han, Kim, Kim, Youm, & Lim, 2016). The results of thermal conductivity studies of light concretes with volcanic tuff and ash show that their thermal conductivity values are significantly lower than those of ordinary concrete of the same compressive strength class. In Picture 5 we can see that the firing of the aggregate did not affect

the thermal conductivity values, the proportions of the compositions remain an indicator affecting the thermal conductivity of the samples.

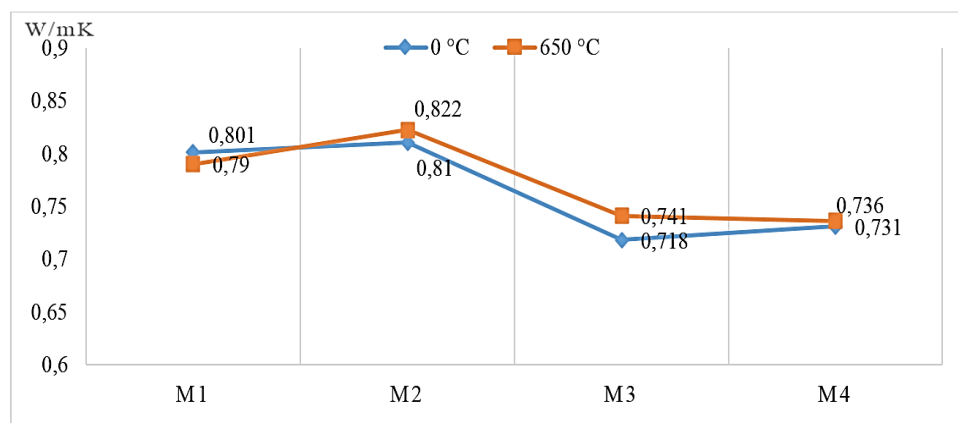


Figure 5. Thermal conductivity values of samples with aggregate before and after heat treatment

Note – compiled by the authors

The minimum value of the thermal conductivity of all samples was 0.718 W/m×K for an untreated filler and similar values for the composition M4. The M1 and M2 compositions showed higher thermal conductivity at 0.822 W/m×K, although slightly. After analyzing all the data on thermal conductivity, we come to the conclusion that the thermal conductivity of light concrete with volcanic tuff and ash is better than that of ordinary concrete. The performance properties of all compositions, regardless of whether the fillers have been subjected to heat treatment or not, are at the same level. From 0.718 to 0.822 W/m×K. We see that the thermal conductivity values of compositions after heat treatment at 650 °C are almost the same as those of compositions without heat treatment.

Conclusions. After heat treatment at 650 °C, the granularity of the TA improved. The crushability indicators of TA were increased from grade M800 to M1000, which had a positive effect on the compressive strength of the samples. The crushability test of TA was carried out before and after firing in a muffle furnace at three different temperatures (600, 650 and 700 °C) using a hydraulic press and cylinder. TA was loaded into the cylinder of a hydraulic press, compressed and then sifted through a sieve with a 2.5 mm hole. The percentage of tuff that passed through the sieve was used to determine the degree of grinding and any changes in grinding after heat treatment.

The compressive strength of lightweight concrete with volcanic tuff and ash exceeds the strength of ordinary concrete of class B20. After heat treatment of the TA, the compressive strength in M4 was 27.8 MPa. All compositions of samples after heat treatment in the furnace showed higher compressive strength. According to the test results, the addition of ash had a negative effect on the compressive strength of concrete mixtures in total. In particular, the M1 and M2 mixtures showed the decrease in compressive strength, lowering by about 21% and 22%, respectively, compared with the control sample. The M3 mixture showed an increase in compressive strength, although slightly less – by 17% than other mixtures with ash.

The average density of concrete using volcanic tuff and TPP-3 ash showed low values compared to control sample. The values of the average density of concrete ranged from 1850.0 to 1902.3 kg/m³.

The thermal conductivity in lightweight concrete with volcanic tuff and ash is much better than in control sample. This was achieved by reducing the average density of concrete. A thermal conductivity of 0.718 W/m×K was achieved. Thus, it can be concluded that the heat treatment of volcanic tuff fillers did not significantly affect the thermal conductivity of the resulting lightweight concrete. However, the use of volcanic tuff and ash in the mixture led to an decrease in thermal conductivity compared to control sample.

References

- Alfimova, N.I. (2012). Products of volcanic activity as raw materials for production of composite binders. *Dry Building Mixtures*, (1), 37-46. (In Russian).
- Amin, M., & Abdelsalam, B.A. (2019). Efficiency of rice husk ash and fly ash as reactivity materials in sustainable concrete. *Sustainable Environment Research*, 29, 30-45. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0035-2>
- Antonov, V. A., Luzin, V. P., & Belyaev, E. V. (2010). Volcanogenic rocks of the North Caucasus as raw materials for producing lightweight building materials. *Exploration and Protection of Subsoil*, (1), 40-45. (In Russian).
- Bindiganavile, V., Batool, F., & Suresh, N. (2012). Effect of fly ash on thermal properties of cement-based foams evaluated by transient plane heat source. *Indian Concrete Journal*, 86(11), 7-22.
- Bouzoubaâ, N., & Foo, S. (2005). Use of fly ash and slag in concrete: A best practice guide. *Materials Technology Laboratory*, 40-56. https://www.researchgate.net/publication/237449019_Use_of_Fly_Ash_and_Slag_in_Concrete_A_Best_Practice_Guide#fullTextFileContent
- Bychkov, M. V. (2013). Low-density self-compacting concretes using volcanic tuff. *Engineering Herald of the Don*, (3), 32-45. (In Russian).
- Chung, S.Y., Han, T.S., Kim, S.Y., Kim, J. H. J., Youm, K.S., & Lim, J. H. (2016). Evaluation of effect of glass beads on thermal conductivity of insulating concrete using micro CT images and probability functions. *Cement and Concrete Composites*, 65, 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.011>
- EN 12390-3:2009. (2009). Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of tests specimens. European Committee for Standardization.
- EN 197-1:2000. (2000). Amendment No. 1/2004, No. 3/2007 Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. European Committee for Standardization.
- Fang, G.H., Ho, W.K., Tu, W. L., & Zhang, M.Z. (2018). Workability and mechanical properties of alkali-activated fly ash-slag concrete cured at ambient temperature. *Construction and Building Materials*, 172, 476-487. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.008>
- GOST 8269.0-97. (1997). Crushed stone and gravel from dense rocks and industrial waste for construction work. Methods of physical and mechanical tests. (In Russian).
- Hezhev, K.A., Hezhev, T.A., Kimov, U.Z., & Dumanov, K.K. (2011). Effective fireproof composites using porous aggregates. *Concrete Technology*, (7-8), 30-41. (In Russian).
- Pechersky, S.A., & Bituev, A.V. (2010). The use of volcanic tuff in hot asphalt concrete. *Construction Materials*, (2), 23-33. (In Russian).
- Romanovskaya, M.A. (1995). Petrographic codex: Magmatic and metamorphic formations. *Journal SPB*, 115-132. (In Russian).
- ASTM C 1363. (2019). Standard test method for thermal performance of building materials and envelope assemblies by means of a hot box apparatus. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C494/C494M-17. (2017). Standard specification for chemical admixtures for concrete. American Society for Testing and Materials.
- Zhumadilova, Zh.O., Zhuginissov, M.T., & Khamza, Y.Y. (2021). Study of overburden tuff rocks and development on its basis of lightweight structural concrete. *Periodico Tche Quimica*, 228-240.

Information about authors

Khamza Y.Y. – PhD doctoral student, NJSC KazNRTU named after. K.I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan, y.khamza@satbayev.university, 87784655815 (corresponding author)

Zhuginissov M.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor, NJSC KazNRTU named after. K.I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan, m.zhuginissov@satbayev.university

Zhumadilova Zh.O. – PhD, Associate Professor, NJSC KazNRTU named after. K.I. Satpayeva, Almaty, Republic of Kazakhstan, z.zhumadilova@satbayev.university

Selyaev V.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Mordovian State University. N.P. Ogareva, Saransk, Russia, ntorm80@mail.ru

МАЗМҰНЫ

ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС

| | |
|---|----|
| <i>Асанәлиев Е.А., Данилов М.С., Лутай С.С., Карманов Д.К., Млынчак М.</i> Ірі қара малдағы минералды жетіспеушіліктің алдын алу үшін бентонитпен тұзды жалауыштың брикеттерінің технологиясын жасау | 5 |
| <i>Ғабдысәлілік Р., Арғынбаев М.Н., Шеров К.Т., Байгереев С.Р.</i> Құбыр арматурасын жетілдіру – DN50 шарлы кранында PN 40 МПа кезінде герметикалықты қамтамасыз ету | 13 |
| <i>Гурьянов Г.А., Яковлев В.С., Дудкин М.В., Ким А.И., Стрычек П.</i> Теориялық тәуелділіктерді шығару және егіс кешенінің құрамына кіретін жабдықтың жаңа құрылымдық тораптарының геометриялық параметрлері мен жұмыс режимдерін анықтау | 24 |
| <i>Естаулетова А.Е., Байдилдина А.Т., Дүйсембаева Г.С., Нурғалиева А.Т., Естаулетов М.Б.</i> «Шығыс жылу» АҚ № 2 қазандықтың мысалында атмосфераға шығарылатын зиянды шығарындыларды азайту мақсатында шаң газ ағынына механикалық әсер ету | 34 |
| <i>Жилкашинова А., Азаматов Б., Нурбаев М., Руденко С.О., Жилкашинова А.</i> Ағындық гидротурбина негізіндегі микро-ГЭС-тің жобасы | 44 |
| <i>Ихсанов К.А., Калешева Г.Е., Утеева Т.Н., Шаненов Н.Н.</i> Бұрғылау шығырының тежегішін салқындату үрдісінің жұмыстық параметрлерін оңтайластыру | 53 |
| <i>Касымканова Х.М., Кенесбаева А., Орынбасарова Э.О., Жанакулова К.А., Адебиет Б.</i> Қазақстан геодінінің моделін құру үшін гравиметриялық негізді дайындау | 62 |
| <i>Кусайынова Г.С., Хмырова Е.Н., Сатбергенова А.К., Игемберлина М.Б., Тұяқбай Ә.С.</i> Мұнара құрылыстарын салуды қамтамасыз етудің геодезиялық әдістерін талдау | 74 |
| <i>Толубаев Қ., Жаутиков Б.А., Зобнин Н.Н., Даирбекова Г.С., Кабиева С.К.</i> Жұқа магнетронды бүріккіш пленкалардағы кремний полиморфизмін идентификациялау және сандық анықтау | 85 |
| <i>Утеулов К.Т., Адуов М.А., Капов С.Н., Нукушева С.А., Исенов К.Г.</i> Жақын және алыс шетелдердегі кең алымды сепкіштерде табан тәріздес жұмыс органдарының орналасу схемаларына анализ | 95 |

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

| | |
|---|-----|
| <i>Ашимғалиев М.Ж., Жумадиллаева А.К., Кви Нг.Инь, Сулейменова Л.Р.</i> Қолмен және автоматтандырылған функцияларды пайдалану арқылы тері қатерлі ісігінің микроскопиялық диагнозында компьютерлік көруді қолдану | 107 |
| <i>Жунисов Н.М., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Абен А.Б.</i> Білім беру порталын әзірлеу кезінде машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану | 121 |
| <i>Зунимова Г.Д., Солтан Г.Ж., Лихачевский Д.В., Исмаилова А.А., Исакова Г.О.</i> Білім беру үрдісі деректерін тәжірибелік талдау үшін шешімді қолдау әдісін жүзеге асыру | 132 |
| <i>Кульжанова А.А., Рамазанов Е.Т.</i> Онлайн және офлайн оқытуда оқушылардың талдау энтропиясы мен үлгерімін салыстыру. Педагогикалық аспектілері | 143 |
| <i>Максүтова К.М., Сапарходжаев Н.П., Жамангарин Д.С., Голенков В.В., Ниязова Р.С.</i> Информатика саласындағы білімді өңдеу технологиялары | 152 |
| <i>Мукашева Г.Е., Карипжанова А.Ж., Колев С., Ахметова Ж.Ж., Ускенбаева Г.А.</i> Мәліметтер қорын қауіптерден қорғауды қамтамасыз ету | 165 |
| <i>Рахымбердина М.Е., Даумова Г.К., Жусупова Г.К., Четтыкбаев Р.К., Чепашев Д.В.</i> Әртүрлі беткейлердегі өсімдік түрлерін картографиялау және олардың ұзақ уақыт аралығындағы өзгеру динамикасын бағалау | 177 |
| <i>Смашлова С.С., Вороненко М.А., Кумаргажанова С.К., Блиная Е.В., Тлебалдинова А.С.</i> Байес желілерін қолдану арқылы экономикалық дамуға жоғары білім берудің әсерін анықтау | 188 |
| <i>Тогузова М.М., Балтабеков Ғ.Н., Капасов А.К., Апшикур Б., Колпакова В.П.</i> Ертіс өзені бассейнінің жағдайын мониторингілеу саласындағы ақпараттық-талдамалық платформа үшін дерекқорды жобалау | 199 |
| <i>Тукушова А.Е., Рахметуллина С.Ж., Пененко А.В.</i> Өскемен қаласы деректер мысалында атмосфералық ауаның ластануын болжау алгоритмін әзірлеу | 208 |
| <i>Хасенова З.Т., Рақышева М.А., Глазырина Н.С., Исайнова А.Н., Мукатов А.Т.</i> Сенсорлық технологиялар мен машиналық оқыту: экологиялық мониторингтің жаңа мүмкіндіктері | 217 |

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС

| | |
|--|-----|
| Абдукаликова Г.М., Утепбергенова Л.М., Шахмиев Ж.А., Абдуова А.А., Аязбаев Д.А. Өндірістік ағынды сулардың жай-күйін және оларды тазартудың негізгі әдістерін бағалау | 231 |
| Байзақова Г.А., Руденко О.В., Аноп Д.К., Герасимов Е.П. Құрамында ұсақ дисперсті шыны қолданылатын бетонның беріктігін зерттеу | 240 |
| Догадкин Д.С., Шевляков В.Ф., Қалиев Д.И., Денисова Н.Ф., Денисов И.В. Шығыс Қазақстан облысындағы көшкін қаупі бар учаскелердің мониторингі үшін автономды станцияның тірек конструкциясын таңдаудың негіздемесі | 253 |
| Есенгабулов С.К., Жаркенов Е.Б., Кожамет М.С., Нұрбаева М.Н., Джексембаева А.Е. Киіз үй тәрізді және шаршы пішіндес ғимараттардың энергия тиімділікке әсерін салыстырмалы талдау | 263 |
| Лукпанов Р.Е., Цыгулев Д.В., Дюсембинов Д.С., Алтынбекова А.Д., Енкебаев С.Б. Plaxis 2D бағдарламалық кешенінде сандық модельдеуді қолдану арқылы айнымалы профильді қада өнімділігін зерттеу | 271 |
| Самуратова Т., Ахметова-Әбдік Г.А., Омарбекова Н., Ермекова Ж., Лунев И. Түркі әлемі өнеріндегі рухани мұра – Қазақ дәстүрлі өнеріндегі кеңістік пен уақыт | 280 |
| Хамза Е.Е., Жугинисов М.Т., Жумаділова Ж.О., Селяев В.П. Туф толтырғышы мен күлдің жеңіл құрылымдық бетонның қасиеттеріне әсері | 288 |

СОДЕРЖАНИЕ

ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

| | |
|---|----|
| Асангалиев Е.А., Данилов М.С., Лутай С.С., Карманов Д.К., Млынчак М. Разработка технологии получения брикетов солей-лизунцов с бентонитом для профилактики дефицита минеральных веществ у крупного рогатого скота | 5 |
| Фабдысалық Р., Арғынбаев М.Н., Шеров К.Т., Байгереев С.Р. Совершенствование трубопроводной арматуры – крана шарового DN50 для обеспечения герметичности при PN 40 МПа | 13 |
| Гурьянов Г.А., Яковлев В.С., Дудкин М.В., Ким А.И., Стрычек П. Вывод теоретических зависимостей и определение геометрических параметров и режимов работы новых конструктивных узлов оборудования, входящего в состав посевного комплекса | 24 |
| Естаулетова А.Е., Байдилдина А.Т., Дуйсембаева Г.С., Нурғалиева А.Т., Естаулетов М.Б. Механическое воздействие на пылегазовый поток с целью понижения выбросов в атмосферу, на примере котельной № 2 АО «Шығыс жылу» | 34 |
| Жилкашинова А., Азаматов Б., Нурбаев М., Руденко С.О., Жилкашинова А. Конструкция микро-ГЭС на базе проточной гидротурбины | 44 |
| Ихсанов К.А., Калешева Г.Е., Утеева Т.Н., Шаненов Н.Н. Оптимизация рабочих параметров процесса охлаждения тормоза буровой лебедки | 53 |
| Касымканова Х.М., Кенесбаева А., Орынбасарова Э.О., Жанакулова К.А., Адебиет Б. Подготовка гравиметрической основы для создания модели геоида Казахстана | 62 |
| Кусайынова Г.С., Хмырова Е.Н., Сатбергенова А.К., Игемберлина М.Б., Тұяқбай Ә.С. Анализ геодезических методов обеспечения строительства башенных сооружений | 74 |
| Толубаев К., Жаутыков Б.А., Зобнин Н.Н., Даурбекова Г.С., Кабиева С.К. Идентификация и количественная оценка полиморфизма кремния в тонких плёнках магнетронного напыления | 85 |
| Утеулов К.Т., Адуев М.А., Капов С.Н., Нукушева С.А., Исенов К.Г. Анализ схем растановок лаповых рабочих органов на широкозахватных сеялках ближнего и дальнего зарубежья | 95 |

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|---|-----|
| Ашимгалиев М.Ж., Жумадиллаева А.К., Кви Нг.Инь, Сулейменова Л.Р. Использование компьютерного зрения в микроскопической диагностике рака кожи посредством использования ручных и автоматизированных функций | 107 |
| Жунисов Н.М., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Абен А.Б. Использование алгоритмов машинного обучения при разработке образовательного портала | 121 |
| Зунимова Г.Д., Солтан Г.Ж., Лихачевский Д.В., Исмаилова А.А., Исакова Г.О. Реализация метода поддержки принятия решений для практического анализа данных образовательного процесса | 132 |
| Кульжанова А.А., Рамазанов Е.Т. Сравнительный анализ энтропии и успеваемости обучающихся в онлайн и оффлайн обучении. Педагогические аспекты | 143 |
| Максимова К.М., Сапарходжаев Н.П., Жамангарин Д.С., Голенков В.В., Ниязова Р.С. Технологии обработки знаний в области информатики | 152 |
| Мукашева Г.Е., Карипжанова А.Ж., Колес С., Ахметова Ж.Ж., Ускенбаева Г.А. Обеспечение защиты баз данных от угроз | 165 |
| Рахымбердина М.Е., Даумова Г.К., Жусупова Г.К., Четтыкбаев Р.К., Чепашев Д.В. Картирование типов растительности на различных склонах и оценка динамики их изменения за продолжительный период времени | 177 |
| Смаилова С.С., Вороненко М.А., Кумаргажанова С.К., Блиная Е.В., Тлебалдинова А.С. Применение Байесовских сетей для определения влияния состояния высшего образования на экономические развитие | 188 |
| Тогузова М.М., Балтабеков Ф.Н., Капасов А.К., Апшикур Б., Колпакова В.П. Проектирование базы данных для информационно-аналитической платформы в области мониторинга состояния водного бассейна р. Ертис | 199 |
| Тукушова А.Е., Рахметуллина С.Ж., Пененко А.В. Разработка алгоритма для предсказания загрязнения атмосферного воздуха на примере данных г. Усть-Каменогорска | 208 |
| Хасенова З.Т., Рақышева М.А., Глазырина Н.С., Исайнова А.Н., Мукатов А.Т. Сенсорные технологии и машинное обучение: новые возможности для экологического мониторинга | 217 |

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

| | |
|--|-----|
| Абдукаликова Г.М., Утепбергенова Л.М., Шахмев Ж.А., Абдуова А.А., Аязбаев Д.А. Оценка состояния производственных сточных вод и основных методов их очистки | 231 |
| Байзакова Г.А., Руденко О.В., Аноп Д.К., Герасимов Е.П. Исследование прочности бетона, в составе которого используется мелкодисперсное стекло | 240 |
| Догадкин Д.С., Шевляков В.Ф., Қалиев Д.И., Денисова Н.Ф., Денисов И.В. Обоснование выбора несущей конструкции автономной станции для мониторинга лавиноопасных участков Восточно-Казахстанской области | 253 |
| Есенгабулов С.К., Жаркенов Е.Б., Кожамет М.С., Нұрбаева М.Н., Джексембаева А.Е. Сравнительный анализ влияния юртоподобных и квадратных зданий на энергоэффективность | 263 |
| Лукпанов Р.Е., Цыгулев Д.В., Дюсембинов Д.С., Алтынбекова А.Д., Енкебаев С.Б. Исследование работы свай переменного профиля с использованием метода численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D | 271 |
| Самуратова Т., Ахметова-Абдик Г.А., Омарбекова Н., Ермекова Ж., Лунев И. Духовное наследие в искусстве тюркского мира – пространство и время в Казахском традиционном искусстве | 280 |
| Хамза Е.Е., Жугинисов М.Т., Жумадилова Ж.О., Селяев В.П. Влияние заполнителя из вулканического туфа и пепла на характеристики легких конструкций | 288 |

CONTENT

ENGINEERING AND ENGINEERING

| | |
|---|----|
| Asangaliyev E.A., Danilov M.S., Lutai S.S., Karmanov D.K., Mlynchak M. Development of technology for salt-licker briquettes with bentonite for the prevention of mineral deficiency in cattle | 5 |
| Gabdyssalyk R., Argynbayev M.N., Sherov K.T., Baigereyev S.R. Improvement of pipe fittings – DN50 ball valve to ensure tightness at PN 40 MPa | 13 |
| Guryanov G., Yakovlev V., Dudkin M., Kim A.I., Stryczek P. Derivation of theoretical dependencies and determination of geometrical parameters and operating modes of new structural units of equipment included in the seeding complex | 24 |
| Yestauletova A., Baidildina A., Duisembayeva G., Nurgaliyeva A., Yestauletov M. Mechanical impact on the dust and gas flow in order to reduce emissions into the atmosphere, on the example of boiler room № 2 of JSC «East heat» | 34 |
| Zhilkashinova As.M., Azamatov B., Nurbaev M., Zhilkashinova Al.M., Rudenko S. Micro hydro-electric power plant design based on a flow-through hydro turbine | 44 |
| Ikhsanov K., Kalesheva G., Uteeva T., Shanenov N. Optimization of operating parameters of the drilling winch brake cooling process | 53 |
| Kassymkanova Kh.M., Kenesbayeva A., Orynassarova E.O., Zhanakulova K.A., Adebijet B. Preparing the gravimetric base to create a geoid model of Kazakhstan | 62 |
| Kussaiynova G.S., Khmyrova Ye.N., Satbergenova A.K., Igemberlina M.B., Tuiyaqbaı Á.S. Analysis of geodetic methods for ensuring the construction of tower structures | 74 |
| Tolubayev K.S., Zhautikov B.A., Zobnin N.N., Dairbekova G.S., Kabiyeva S.K. Identification and quantification of silicon polymorphism in magnetron sputtered thin films | 85 |
| Uteulov K.T., Aduov M.A., Kapov S.N., Nukusheva S.A., Isenov K.G. Analysis of the schemes of the arrangement of the paw working bodies on the wide-reach seeders of the near and far abroad | 95 |

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

| | |
|--|-----|
| Ashimgaliyev M.Zh., Zhumadillayeva A.K., Kwee Ng.Yin, Suleimenova L.R. Leveraging computer vision in the microscopic diagnosis of skin cancer through the utilization of both manual and automated features | 107 |
| Zhunisoov N.M., Kazbekova G.N., Baimakhanova A.S., Aben A.B. Using machine learning algorithms in the development of an educational portal | 121 |
| Zunimova G., Soltan G., Likhachevskiy D., Ismailova A., Issakova G. Implementation of a decision support method for practical analysis of educational process data | 132 |
| Kulzhanova A., Ramazanov E.T. Comparative analysis of entropy and performance of students in online and offline learning. Pedagogical aspects | 143 |
| Maxutova K., Saparkhojayev N., Zhamangarin D., Golenkov V., Niyazova R. Knowledge processing technologies in the area of computer science | 152 |
| Mukasheva G.E., Karipzhanova A.J., Kolev S., Akhmetov Zh.Zh., Uskenbayeva G.A. Ensuring the protection of databases from threats | 165 |
| Rakhymberdina M.E., Daumova G.K., Zhussupova G.K., Chettykbayev R.K., Chepashev D.V. Mapping vegetation types on different slopes and assessing the dynamics of their change over a long period of time | 177 |
| Smailova S.S., Voronenko M., Kumargazhanova S.K., Blinayeva Y.V., Tlebaldinova A.S. Application of Bayesian networks to determine the impact of higher education on economic development | 188 |
| Toguzova M.M., Baltabekov G.N., Kapasov A.K., Apshikur B., Kolpakova V.P. Designing a database for an information-analytical platform in the field of monitoring the state of the Irtys river basin | 199 |
| Tukushova A., Rakhmetullina S., Penenko A. Development of an algorithm for predicting atmospheric air pollution using the example of data of the city of Ust-Kamenogorsk | 208 |
| Khasanova Z.T., Rakysheva M.A., Issainova A.N., Glazyrina N.S., Mukatov A.T. Sensor technologies and machine learning: new opportunities for environmental monitoring | 217 |

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

| | |
|---|-----|
| Abdualikova G.M., Utepbergenova L.M., Shakhmov Zh.A., Abduova A.A., Ayazbaev D.A. Assessment of production wastewater condition and main methods of treatment realization | 231 |
| Baizakova G.A., Руденко O.B., Anop D.K., Gerasimov E.P. Investigation of the strength of concrete in which fine glass is used | 240 |
| Dogadkin D., Shevlyakov V., Kaliyev D., Denissova N., Denisov I. Justification of the choice of the supporting structure of an autonomous station for monitoring avalanche-prone areas of the East Kazakhstan region | 253 |
| Esengabulov S., Zharkenov Ye.B., Kozhakhmet M.S., Nurbayeva M.N., Zhaksembayeva A.Ye. Comparative analysis of the impact of yurt-like and square buildings on energy efficiency | 263 |
| Lukpanov R., Tsygulev D., Dyusseminov D., Altynbekova A., Yenkebayev S. Study of variable profile pile performance using numerical modeling in Plaxis 2D software package | 271 |
| Samuratova T.K., Akhmetova-Abdik G.A., Omarbekova N., Ermekova Zh.K., Lunev I. Spiritual heritage in the art of the Turkic world – space and time in Kazakh traditional art | 280 |
| Khamza Y.Y., Zhuginissov M.T., Zhumadilova Zh.O., Selyaev V.P. The impact of volcanic tuff aggregate and ash on the characteristics of lightweight structural | 288 |

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің ХАБАРШЫСЫ

Ғылыми журнал
1999 жылдан шыға бастады.
Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінде тіркеліп,
2024 ж. 3 мамырында № KZ71VPY00092356 куәлігі берілген.

ВЕСТНИК Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева

Научный журнал
Издается с 1999 г.
Зарегистрирован Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан. Свидетельство № KZ71VPY00092356 от 3 мая 2024 г.

BULLETIN of D. Serikbayev East Kazakhstan technical university

Scientific journal
Published since 1999
Registered by the Ministry of Information and Social Development
Republic of Kazakhstan. Certificate No. KZ71VPY00092356 dated May 3, 2024.

Редакторлар – Редакторы
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Корректорлар – Корректоры
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова
Руководитель издательства О.Н. Николаенко
Editors O. Nikolaenko, S. Mamyrazdykova
Copy editors O. Nikolaenko, S. Mamyrazdykova
Publishing director O. Nikolaenko

Материалдарды компьютерде терген және беттеген С.С. Мамыраздыкова
Набор, верстка, изготовление оригинал-макета С.С. Мамыраздыкова
Text Layout, lead out production of the original layout S. Mamyrazdykova

Басуға 30 қыркүйек 2024 ж. қол қойылды.
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.
Көлемі: шартты баспа табағы 31,92, есептік баспа табағы 31,97.
Баспа нұсқасы. Таралымы 50 дана. № 754-2024 тапсырыс.
Бағасы келісім бойынша.

Подписано в печать 30 сентября 2024 г.
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.
Объем: усл. печ. л. 31,92, уч.-изд. л. 31,97.
Печатная версия. Тираж 50 экз. Заказ № 754-2024.
Цена договорная.

Signed to print on September 30, 2024.
Format 84'108 / 16. Offset paper.
Volume: conventional printing plate 31.92, estimated printing plate 31.97.
Printed version. Circulation 50 copies. Order No. 754-2024.
The price is negotiable.

Шығыс Қазақстан техникалық университеті. 070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69.
Восточно-Казахстанский технический университет. 070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69.
D. Serikbayev East Kazakhstan technical university. 070004, Ust-Kamenogorsk, 69 Protozanov Street.