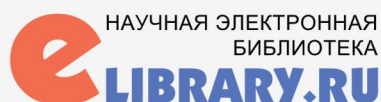


ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND OF HIGHER EDUCATION THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

М. ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҒТУСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ
ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА
M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY



ISSN 2616-6429
KAZPOST 76085



AUEZOV
UNIVERSITY
1943

ОҒТУСТІК ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМ ЖАРШЫСЫ
ВЕСТНИК НАУКИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА
SOUTH KAZAKHSTAN SCIENCE HERALD

№ 2 (34) 2026

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND OF HIGHER EDUCATION THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

М. ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ
ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА
M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY

**ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМ ЖАРШЫСЫ
ВЕСТНИК НАУКИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА
SOUTH KAZAKHSTAN SCIENCE HERALD**



№2 (34)

ШЫМКЕНТ 2026

ISSN 2616-6429

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМ ЖАРШЫСЫ

ВЕСТНИК НАУКИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

SOUTH KAZAKHSTAN SCIENCE HERALD

№2 (34) 2026

Меншік иесі: М.Әуезов атындағы ОҚУ

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Бас редактор: Ахмед-Заки Д.Ж. - М. Әуезов атындағы ОҚУ Басқарма төрағасы-ректор, т.ғ.д., профессор.

Редакциялық алқа мүшелері: Емелин А.В. – ф.-м.ғ.д., профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік университеті, Ресей; Изабелла Новак – х.ғ.д., профессор, Познань қ. Адам Мицкевич университеті, Польша; Аврамов К.В. – т.ғ.д., профессор, «Харьков политехникалық институты» ұлттық техникалық университеті, Украина; Соловьев А.А. – ф.-м.ғ.д., профессор, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Ресей; Богуслава Леска - х.ғ.д., профессор, Познань қ. Адам Мицкевич университеті, Польша; Полина Прокопович – PhD, Кардифф университеті, Ұлыбритания; Ивахненко А.П. - PhD докторы, профессор, Мұнай зерттеу орталығы, Хериот-Ватт университеті, Ұлыбритания; Сучкова Е.П. – т.ғ.к., доцент, Санкт-Петербург Ақпараттық технологиялар, механика және оптика ұлттық зерттеу университеті, Ресей; Елизавета Фаслер-Кан - PhD докторы, профессор, Базель университеті, Австрия; Радюк С.Н. - PhD докторы, қауымдастырылған профессор, Оңтүстік методистік университеті, АҚШ; Евлаш В.В. – т.ғ.д., профессор, Харьков мемлекеттік азық-түлік технологиясы және сауда университеті, Украина; Потапов В.А. – т.ғ.д., профессор, мемлекеттік биотехнологиялық университеті, Украина; Селамат, Мохд Хасан Бин - PhD докторы, профессор, Путра Малайзия университеті, Малайзия; Осман, Мохаммед Бин – PhD докторы, профессор, Путра Малайзия университеті, Малайзия; Муродова С. -б.ғ.д., профессор, Мирзо Ұлықбек атындағы Өзбекстан Ұлттық университетінің Жизак филиалы; Жұрынов М.Ж. - х.ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан; Чоманов У.Ч. – т.ғ.д., профессор, ҚР ҰЖҒА академигі, Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты, Қазақстан; Рскелдиев Б.А. – т.ғ.д., профессор, ҚР Ұлттық Жаратылыстану ғылымдары академиясының корреспондент-мүшесі, Алматы технологиялық университеті. Қазақстан; Таева А.М. - т.ғ.д., доцент (қауымдастырылған профессор), Алматы технологиялық университеті, Қазақстан; Тултабаева Т.Ч. - т.ғ.д., доцент, ҚР АШҒА академигі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Қазақстан; Касенов А.Л. - т.ғ.д., профессор, Шәкәрім университеті, Қазақстан; Амирханов К.Ж. - т.ғ.д., профессор, Шәкәрім университеті, Қазақстан; Алдешов С.Е. – п.ғ.к., Ө. Жәнібеков атындағы ОҚПУ, Қазақстан; Тултабаев М.Ч. - т.ғ.д., профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Қазақстан; Сүлейменов Ұ.С. – т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Айменов Ж.Т. – т.ғ.д., профессор, ҚР ҰЖҒА академигі, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Исмаилов Б.Р.– т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Надиров К.С. – х.ғ.д., профессор; М.Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Назарбекова С.П. – х.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Таймасов Б.Т. - т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Волненко А.А. - т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Сембиев О.З. - т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Бренер А.М. – т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Голубев В.Г.–т.ғ.д., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан; Сәрсенбі Ә.М. – ф.-м.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Қазақстан.

**ХИМИЯЛЫҚ ИНЖЕНЕРИЯ
ХИМИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ
CHEMICAL ENGINEERING**

UDC 615.479.47

<https://doi.org/10.54251/2616-6429.2026.02.n01>

L. Aikozova*, Sh. Dzholdasova, B. Tastanbekov, A. Ismail

Cand.Tech.Sci., associate professor, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Cand.Chem.Sci., associate professor, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

senior lecturer, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

4th year student, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

***Corresponding author's email:** laura.aykozova@mail.ru

RESEARCH ON PRODUCTS DERIVED FROM NATURAL LATEX CONCENTRATE

Abstract

The object of study in this article is natural rubber latex concentrate. The methodological basis of the work is the applied scientific methods, methods of processing the raw material - natural rubber latex concentrate, technological processes during neutralization. In the course of the work, a complex of the latest advanced physicochemical analyzes was used: multi-purpose scanning microscope, chemical-analytical methods. This article also studies the main stages of the production of medical gloves, in particular, latex medical gloves. It is noted that the special location of the production of gloves is recommended, that is, the production of medical gloves is mainly located in countries where rubber trees grow. Since the transportation of 100% natural latex juice is a costly and complex process, it is considered advantageous to locate production facilities using this raw material in countries where rubber trees grow (Malaysia, China, Thailand, Sri Lanka, Indonesia). The main advantages of medical gloves made from latex concentrate over latex seals are given. The features of inspection products and the following advantages of nitrile examination gloves are given. The types and characteristics of medical gloves, the features of use and the fact that they can be divided into several groups depending on the type of gloves are given. In addition, the classification of medical gloves is given.

Keywords: latex concentrate, medical gloves, nitrile, vinyl gloves.

Introduction. Natural latex is the sap extracted from the rubber tree. The rubber tree is mainly grown in Southeast Asian countries (Vietnam, Thailand). The technology of using latex was first introduced in 1926. Materials with latex are highly elastic, flexible and elastic. There are many differences between natural latex and synthetic latex. Synthetic latex was first widely used by the United States during World War II. Styrene-butadiene rubber is an artificial synthetic latex used in mattresses and pillows. Such synthetic latex is produced from waste petroleum products and other chemicals. There is also a difference between 100% natural latex and ordinary natural latex. Ordinary natural latex is a mixed latex. Its composition consists of 15% NRL, 85% SBR or 40% NRL and 60% SBR. Such ordinary natural latex is 2 times cheaper than 100% natural latex. 100% natural latex is exported from Southeast Asian countries [1]. A special tool is used to cut the trunk of each rubber tree and place it on a line. This, in turn, allows you to extract rubber juice (latex) from the rubber tree every day. It is possible to collect latex from rubber trees 180 days a year, the rest of the days are considered rainy season and very hot days. On these days, rubber tree juice (latex) is not collected. Rubber trees are tapped for 4 hours. Then the process of extracting the juice is stopped. The latex sap from the tree naturally thickens and the latex sap stops flowing. The size of the cut made in the bark of the tree is 90 cm. In one day, 450-650 trees are cut. 1 ton of latex juice is extracted from 1 hectare. 2/3 of the latex juice extracted from the bark of the tree is water. Therefore, since it is very thick, it is necessary to process the obtained latex juice. Latex processing methods. If the latex sap extracted from the tree is left in the latex collection container for a long time, it will inevitably thicken and

harden. Therefore, the latex sap must be poured out before it begins to coagulate (thicken). Freshly collected latex sap is transported in special anti-coagulation containers or airtight containers. Special ammonization screens are installed inside these containers. The ammonization process (saturation with ammonia) keeps the latex sap in a colloidal (liquid) state. As a result of the ammonization process, the latex sap can remain liquid for a long time. If the latex sap thickens and hardens (coagulates), there is no way to return it to a liquid state. Such hardened rubber is processed into technical rubber, and low-grade rubber mats and low-grade rubber mats are obtained [2].

These products were one of the first. They are used in traditional medicine. Since progress does not stand still, models with an optimal set of properties have appeared. Latex: pros and cons. The main advantages of latex gloves: Elasticity; high level of sensitivity; quick "adaptation" to the shape of the hand; reliable grip of the tool. These advantages make latex gloves the most popular for medical operations and other procedures.

However, recently there is a drawback that requires replacing this type of product with alternative options - this is an allergy to rubber proteins that are part of latex. Moreover, allergies can occur not only in the doctor, but also in the patient.

Diagnostic products are products designed to protect medical personnel themselves, as well as patients, from the spread of infection or during procedures that require a certain level of sterility.

Features of examination products. The requirements provide for different materials from which gloves are made. The most commonly used materials are vinyl, latex or nitrile. The shape of such gloves is not oriented to the right and left hand [3]. For ease of wearing, a special absorbent coating (corn flour) is applied to the inside of the products. Such gloves are called powdered. However, if there is a risk of allergies to this product or the requirements require avoiding contact with small particles, then powder-free products are used. Features of latex, nitrile and vinyl products: good strength characteristics; flexibility and excellent fit to the hand; wear-resistant qualities in dynamics.

Vinyl medical gloves are an alternative for those who suffer from latex allergies. The polyvinyl chloride from which they are made provides versatility and practicality in all areas. Nitrile examination gloves have the following advantages:• ability to work with aggressive environments; high resistance to punctures and tears; with a minimum thickness, they provide a higher level of protection than latex products; increased tactile sensitivity.

Sometimes it is difficult to make the right choice among the many models offered in pharmacies and specialty stores. This work will help to navigate and select the right medical gloves for various purposes [4].

Types and characteristics. Medical gloves are used to perform various surgical interventions, as well as for medical or cosmetic procedures that require sterility.

Depending on the features of use and the type of gloves, several groups can be distinguished: non-sterile (have an anatomical shape, but are not sterile); non-roller (used for any purpose, depending on the need, they can be sterile or non-sterile); nitrile and neoprene (anatomically shaped, very durable, fits snugly to the hand); with long cuffs (extended cuffs for the convenience of wearing work clothes); three-layer (has the most reliable degree of protection); with aloe vera (treated with a special composition inside that does not adversely affect the skin of the hands).

Classification of medical gloves. Medical gloves are divided into two groups: products used for surgical interventions and all other manipulations, for invasive and therapeutic procedures [4]. Surgical gloves have the following properties: Sterile processing; Shape that matches the curves of the hand (the direction of the thumb is against the palm); division into right and left hands; high level of strength; presence of a long cuff; presence of standard or specialized properties depending on the specifics of the surgical direction.

Latex gloves: characterized by a high degree of elasticity and strength; should not be used if the doctor or patient has an allergic reaction to latex; should not be used for contact with aggressive chemicals. Another criterion for classifying medical gloves is the quality of the internal processing.

The products are powdered (or non-powdered), special polymer coatings are used. The outer surface is also divided into types: smooth, textured and micro-textured. Cuffs are made with a cut edge or are rolled into a bundle [5].

Materials and Methods

Promising sources of production of diagnostic medical gloves

Diagnostic (examination) glove sizes. Certification according to MEST. Currently, the main standard regulating the quality of medical gloves remains MEST EN388-2019 “Two-way hand protection. Gloves for protection against mechanical influences” [3]. It clearly indicates what properties these types of products should have.

The size classification is based on the dimensions of the widest part of the hand and corresponds to the following gradation:

- XS - corresponds to sizes 4–5,
- S - small, corresponding to sizes 6–7,
- M - medium, corresponding to sizes 7–8,
- L - large, corresponding to Russian GOST size 8.
- XL - the largest, corresponding to size 9.

Diagnostic gloves do not have a specific division into left and right hands, but differ in size, which varies depending on the circumference of the hand (determined by the fifth metacarpophalangeal joint). The average length of the products is 24 centimeters. It is very important to consider the size of the gloves: if the products are not selected correctly, this may interfere with the accurate and free movement of the specialist's hands. The main sizes of diagnostic gloves are given in Table 1.

Table 1 - Basic dimensions of diagnostic gloves

Dimensions	XL	L	M	S	XS
mm	>250	220-250	190-220	170-190	<170

In addition, very small sizes are produced - XXS and very large - XXL, but they are much less common and used. The technical requirements for diagnostic (examination) gloves, storage and transportation conditions are regulated by the MEST, according to which the guaranteed shelf life is one year from the date of manufacture. The material from which diagnostic (examination) gloves are made and the conditions of their use (duration and type of procedure, work with aggressive media) are the most important factors affecting their barrier function. Therefore, gloves should be selected based on the characteristics of different types of gloves and the specifics of the activity for which they are used [4,5]. There are many characteristics by which these products can be classified.

Based on the material:

- Latex;
- Nitrile;
- Neoprene;
- Polyethylene;
- Vinyl, etc.

Purpose:

- Diagnostic (examination).
- Surgical - anatomical shape and a long cuff that provides high-quality grip on the wrist.
- Special purpose – high strength, orthopedic, obstetric, ophthalmic, etc.

Shape:

- universal shape (same shape for right and left hands).
- anatomical shape (different shape for right and left hands).

Surface:

- Smooth
- Textured (for easy grip of small medical instruments).

Application:

- single use;
- multiple use.

Sterility:

- sterile gloves;
- non-sterile gloves.

By ease of wearing:

- powdered surface;
- chlorinated surface;
- polymer coating.

Cuff:

- cuff with roller;
- cuff without roller (prevents wrist strain during prolonged manipulations).

Diagnostic gloves are considered non-sterile powder-free nitrile textured gloves. Latex processing methods. Dispersions of the ingredients included in latex mixtures are prepared in ball mills, vibratory mills and other devices, and latex mixtures are prepared in stainless steel or enameled mixers (mixers). The order of adding ingredients is very important when preparing mixtures. Typically, the ingredients are added to the latex in the following order: first stabilizers, then filler dispersions, then emulsifiers, vulcanizing agents with accelerators and activators, and thickeners. To ensure the stability of the properties of latex mixtures, they are subjected to maturation, and mixtures for the production of thin-walled products and threads are subjected to vacuum treatment to eliminate small air bubbles. The mass of the introduced ingredients is determined on the basis of dry rubber in the latex. Table 2 shows the composition of the mixture for the production of medical gloves based on 90% natural latex.

Results and discussions

Medical latex gloves are produced by dipping. dipping, followed by drying, coating the fabric, ion deposition, gelatinization, etc.

Dipping [4,5]. Dipping and applying coatings to the fabric can be repeated several times. The method is effective only for obtaining thin-walled products and coatings with a thickness of not more than 0.2 mm, while the number of dips does not exceed 2-3.

Table 2 - Composition of the mixture for the production of medical gloves based on 90% natural latex

Composition of the mixture	The concentration of latex %	Composition on dry matter basis,%	Composition when calculating rubber and dispersion, %
Natural latex	60	100,0	166,5
Sulfur	50	1,0	2,0
Zinc oxide	33	1,0	3,0
Zinc diethyldithiocarbamate	50	1,0	2,0
Chalk	50	10,0	20,0
Antioxidant	33	1,0	3,0
Dyes	25	2,0	8,0

The production of dipped products is based on regular dipping (dipping) in a ready-made latex

mixture, the configuration and dimensions of which correspond to the product being manufactured. The process is carried out on special machines - automatic machines with strictly controlled operating conditions. The main stages of obtaining products by the strapping method are: cleaning (washing) and conditioning of the molds, dipping, drying, edge strengthening (crown rolling), drying the latex film on the mold, vulcanization, demoulding of products. For the production of products by dipping, mixtures based on natural centrifuged latex are mainly used, as well as Vultex.

Study of the chemical composition of natural rubber latex concentrate by physicochemical methods.

Identification of the mineral composition of the latex concentrate was carried out by IR spectroscopy. IR spectra were carried out on a UR-20 device in the frequency range of 400-4000 cm^{-1} . (Figure 1). The samples were prepared by compaction of KBr. In the IR spectra of the latex concentrate, absorption lines of antisymmetric valence and deformation motions of the CO_2 ion are observed. The reduction of the correct tetrahedral symmetry of the CO_2 ion to CO_2 is observed at the peak at 3035.96 cm^{-1} , which indicates the C-H valence motions of aromatic, heteroaromatic, small cycles, halogenated alkyl groups. And at a frequency of 1666.50 cm^{-1} , it indicates the compounds of the methylene group.

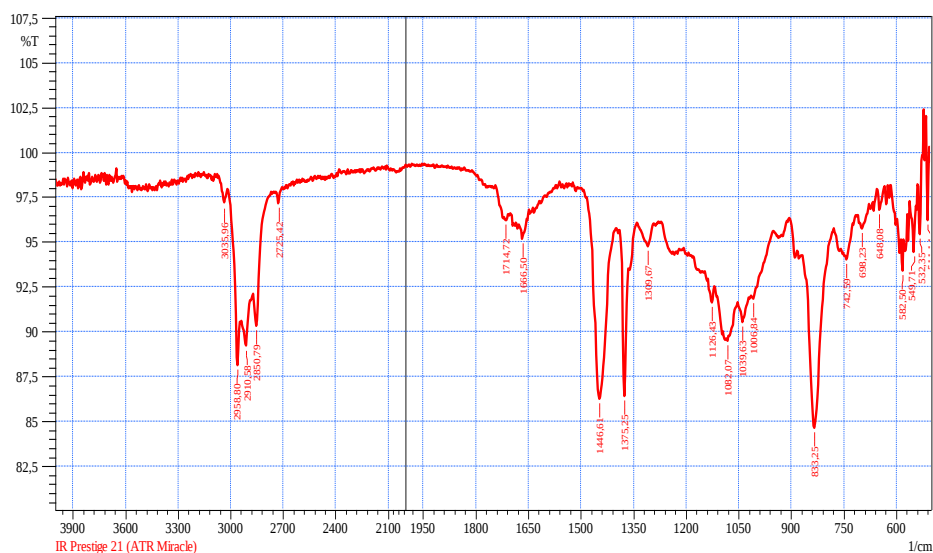


Figure 1 - IR spectra of natural latex concentrate

No.	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	511,14	96,248	5,370	514,99	507,28	0,043	0,097
2	532,35	95,425	3,698	540,07	526,57	0,161	0,102
3	549,71	94,426	2,672	561,29	543,93	0,317	0,099
4	582,50	93,389	1,735	586,36	578,64	0,197	0,030
5	648,08	96,802	1,213	655,80	632,65	0,254	0,056
6	698,23	95,764	0,967	709,80	678,94	0,519	0,084
7	742,59	94,021	0,540	746,45	725,23	0,498	0,037
8	833,25	84,651	10,186	867,97	779,24	3,672	1,702
9	1006,84	91,862	0,447	1012,63	950,91	1,750	0,047
10	1039,63	90,552	1,092	1051,20	1022,27	1,165	0,074
11	1082,07	89,516	0,236	1083,99	1053,13	1,339	0,031
12	1126,43	91,651	1,049	1138,00	1118,71	0,684	0,051
13	1309,67	94,774	1,265	1340,53	1290,38	1,016	0,136
14	1375,25	86,439	8,070	1388,75	1363,67	0,985	0,369
15	1446,61	86,252	10,591	1490,97	1400,32	3,120	1,836
16	1666,50	95,186	0,912	1676,14	1653,00	0,444	0,047
17	1714,72	96,214	0,222	1718,58	1707,00	0,189	0,008
18	2725,42	97,143	0,752	2736,99	2704,20	0,341	0,043
19	2850,79	90,310	2,956	2870,08	2781,35	2,216	0,298
20	2910,58	89,168	1,367	2920,23	2889,37	1,377	0,099
21	2958,80	88,152	3,978	3014,74	2943,37	2,157	0,325
22	3035,96	97,117	0,682	3064,89	3028,24	0,345	0,042

Figure 2 - IR spectra of natural latex concentrate

Conclusions

The current state of medical glove production, as well as the main stages of the production of medical gloves, in particular latex medical gloves, were studied. Perspective sources of diagnostic medical glove production and a description of medical gloves and their types were given.

References

1. Larina, L.N. etc. Studies of the vulcanization of latex films of the thiuram system in the production of medical products / L. N. Larina // Problems of technology of processing of latexes and their application. - M.: Petrol.chemistry. - 1978. - S. 91.
2. The mode of movement of the form in the manufacture of machined products from latex / N.V. Amelina, A.S. Kulbashnyi, A.S. Klinkov, V. G. Odnolko // Questions of modern science and practice. University im. V.I. Vernadsky. - 2010. - No. 10 - 12 (31). - S. 355.
3. SS EN 388-2019 "Gloves for protection against mechanical effects"
4. Medical gloves. Electronic version - dentist.stom.ru/8485/article 6. Shtml: Stomatology / D. Afanasyev.
5. Ozeretskivsky, N.A. Bacterial, serum and viral therapeutic and prophylactic drugs. Allergy / N.A. Ozeretkovsky, G.I. Ostanina // St. Petersburg, Foliant. - 2018.- S. 90.
6. Rodrigues, T. S., & Lona, L. M. F. (2025). Development of bio-based pressure-Sensitive adhesives using natural rubber latex and rosin resins. Journal of Adhesion Science and Technology, 39(1), 56–70. <https://doi.org/10.1080/00218464.2025.2514172>
7. Saleem, M. A., Hafeez, A., & Shaker, K. (2025). Development of natural latex-based dip coating for synthetic yarns reinforced rubber composite materials. Journal of the Textile Institute, 117(5), 797–807. <https://doi.org/10.1080/00405000.2025.2518735>

Л. Айкозова*, Ш. Жолдасова, Б. Тастанбеков, А. Исмаил

т.ғ.к., доцент, laura.aykozova@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
х.ғ.к., доцент, shola.dzodas.53@mail.ru, М. Әуезов Атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
аға оқытушысы, bekbolat_tm@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
4 курс студенті, akbota.ismail.04@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

ТАБИҒИ ЛАТЕКС КОНЦЕНТРАТЫНАН АЛЫНҒАН ӨНІМДЕРДІ ЗЕРТТЕУ

Түйін

Аталған мақалада табиғи каучукты латекс концентраты зерттеу нысаны болып табылады. Жұмыстың әдістемелік негізін қолданылып жатқан ғылыми әдістемелер, өндіріс шикізаты – табиғи каучукты латекс концентратын өңдеу әдістері, бейтараптау кезіндегі технологиялық үрдістер құрайды. Жұмысты орындау барысында кешенді соңғы жетілдірілген физика-химиялық талдаулар: көп мақсатты растрлы микроскоп, химия-аналитикалық әдістер қолданылды. Бұл мақала сонымен қатар медициналық қолғаптардың, атап айтқанда латексті медициналық қолғаптарды өндіру өндірістің негізгі сатылары зерттелген. Қолғаптардың өндірісінің арнайы орналасуы, яғни негізінен медициналық қолғаптар өндірісі каучук ағаштарын өсіретін елдерде орналастыруға ұсынылатындығы келтірілген. Өйткені 100% табиғи латекс шырынын тасмалдау шығыны көп, күрделі процес болғандықтан, осы шикізатты қолданатын өндіріс орындары каучук ағашы өсірлетін елдерде (Малазия, Қытай, Тайланд, Шри-Ланка, Индонезия) орналасқандығы тиімді болып есептеледі екен. Латекс концентратынан алынған медициналық қолғаптардың латекстік тығыздағыштардың негізгі артықшылықтары келтірілген. Тексеру өнімдерінің ерекшеліктері және нитрилді тексеру қолғаптарының келесі артықшылықтары айтылған. Медициналық қолғаптардың түрлері мен сипаттамалары, қолдану ерекшеліктері және қолғаптардың түріне байланысты бірнеше топтарды бөлуге болатындығы айтылған. Сонымен қатар, медициналық қолғаптардың классификациясы келтірілген.

Кілттік сөздер: латекс концентраты, медициналық қолғаптар, нитрил, винил қолғаптар.

Л. Айкозова, Ш. Жолдасова, Б. Тастанбеков, А. Исмаил

к.т.н., доцент, laura.aykozova@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.х.н., доцент, shola.dzodas.53@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
старший преподаватель, bekbolat_tm@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
студент 4 курса, akbota.ismail.04@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ КОНЦЕНТРАТА НАТУРАЛЬНОГО ЛАТЕКСА

Аннотация

В данной статье объектом исследования является концентрат натурального каучукового латекса. Методической основой работы являются применяемые научные методы, методы обработки сырья – концентрата натурального каучукового латекса, технологические процессы нейтрализации. В ходе работы использовался комплекс новейших современных физико-химических анализов: многоцелевой сканирующий микроскоп, химико-аналитические методы. В статье также изучаются основные этапы производства медицинских перчаток, в частности, латексных медицинских перчаток. Отмечается, что рекомендуется особое место производства перчаток, то есть производство медицинских перчаток преимущественно в странах, где произрастают каучуковые деревья. Поскольку транспортировка 100% натурального латексного сока является дорогостоящим и сложным процессом, целесообразно размещать производственные мощности, использующие это сырье, в странах, где произрастают каучуковые деревья (Малайзия, Китай, Таиланд, Шри-Ланка, Индонезия). Приведены основные преимущества медицинских перчаток из латексного концентрата по сравнению с латексными уплотнителями. Приведены особенности контрольной продукции и следующие преимущества нитриловых смотровых перчаток. Приведены типы и характеристики медицинских перчаток,

особенности их применения, а также тот факт, что в зависимости от типа перчаток их можно разделить на несколько групп. Кроме того, представлена классификация медицинских перчаток.

Ключевые слова: латексный концентрат, медицинские перчатки, нитриловые, виниловые перчатки.

А.А. Анарбаев, Н.С. Бородин, Б.Н. Кабылбекова*
д.т.н., профессор, ЮКУ имени М.Ауезова, Шымкент, Казахстан
магистрант, ЮКУ имени М.Ауезова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., доцент, ЮКУ имени М.Ауезова, Шымкент, Казахстан
*Автор для корреспонденции: balzhan.kbn@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА НА ЦЕЛЕВЫЕ ПРОДУКТЫ

Аннотация

В работе рассмотрены методы обработки литий-ионных аккумуляторов и использованных источников лития для литиевых соединений. Приведена классификация источников первичного и вторичного литиевого тока, описаны их конструктивные особенности, химический состав электродных материалов и основные опасные компоненты. Были проанализированы основные этапы обработки с акцентом на селективное извлечение лития и сопутствующих металлов (Co, Ni, Mn, Cu, Al), включая механическую подготовку, пирометаллургические и гидрометаллургические методы. Особое внимание было уделено современным исследованиям, запатентованным технологиям и комбинированным схемам переработки, а также тенденциям развития низкотемпературных и экологически ориентированных процессов. Рассмотрены экологические и экономические аспекты рециклинга, в том числе снижение негативного воздействия на окружающую среду, затраты энергии и перспективы промышленного внедрения переработки литиевых источников тока. Приведены результаты исследований получения хлоридной соли и карбоната лития из источников тока, использованных путем разложения соляной кислоты. Определены оптимальные параметры процесса получения хлорида и карбоната лития, температура процесса, время обработки и концентрация соляной кислоты. Полученный продукт карбоната лития соответствует требованиям ГОСТ.

Ключевые слова: литий-ионные батареи, батареи, гидрометаллургия, пирометаллургия, вторичные ресурсы, хлорид лития, карбонат лития.

Введение

В последние десятилетия наблюдается стремительный рост производства и потребления литий-ионных источников тока, что обусловлено развитием портативной электроники электротранспорта и систем накопления энергии.

Захоронение или неконтролируемое складирование отработанных литиевых источников тока связано с серьёзными экологическими рисками. Аккумуляторы содержат токсичные электролиты, органические растворители, и соединения тяжелых металлов, которые при разрушении корпуса способны мигрировать в почву и грунтовые воды, вызывая загрязнение окружающей среды.

Целью данной статьи является анализ современных подходов к переработке отработанных литий-ионных аккумуляторов с получением литиевых солей.

В статье кратко рассматриваются механические, пирометаллургические и гидрометаллургические методы переработки, а также комбинированные технологические схемы. Особое внимание уделяется гидрометаллургическим процессам, как наиболее перспективным с точки зрения селективности извлечения металлов, энергоэффективности и снижения экологической нагрузки.

Литиевые источники тока представляют собой электрохимические системы, в которых литий или соединения лития используются в качестве активного компонента. Источники тока получили широкое распространение в портативной электронике, энергетике, медицине и электротранспорте.

Отработанные источник тока состоит из сложных соединений литий–оксид марганца и литий–сульфооксид хлор, а также органические полимерно-литиевые и неорганический литий фосфатных солей [1].

Наличие таких компонентов органические электролиты, соли лития, а также тяжёлые металлы, такие как кобальт и никель требует строгого соблюдения мер безопасности при обращении с отработанными литиевыми источниками тока и обосновывает необходимость их специализированной переработки.

В литературе выделяют три основных подхода: механическую подготовку, пирометаллургические методы и гидрометаллургические процессы.

Эти методы не требуют химического воздействия и обеспечивают предварительное концентрирование полезных фракций, снижая объёмы перерабатываемого материала на следующих стадиях [2].

Существует пирометаллургические методы - термические переработки, основанные на нагреве измельчённой «чёрной массы» до высоких температур для плавления и получения металлических сплавов. Однако литий в этих процессах, как правило, переходит в силикатный шлак и требует дополнительной обработки. Недостатком является высокие энергетические затраты из-за необходимости нагрева до больших температур; потери лития в шлаковой фазе; выбросы CO_2 и других загрязнителей без применения дорогих систем очистки газов и низкая селективность по отношению к ценным переходным металлам.

Наиболее распространенный способ переработки литийсодержащих отходов -кислотное и щелочное выщелачивание. Главная стадия гидрометаллургии — это выщелачивание, при котором активные материалы растворяются в водных растворах кислот или щелочей. После щелочного выщелачивания, отходов получают гидроксид, хлорид, и карбонат лития как целевой продукт для аккумуляторной промышленности.

В одной из работ предложена модель прогностического управления процессом разрядки, позволяющая поддерживать безопасные температурные условия при подготовке батарей к дальнейшей переработке[3].

Важной тенденцией развития является внедрение низкотемпературных процессов и принципов «зелёной» химии, которые направлены на снижение энергетических затрат, уменьшение использования агрессивных кислот и переход на более безопасные реагенты и растворители. Среди таких решений — применение глубоких эвтектических растворителей с высокой селективностью, что позволяет значительно повысить эффективность извлечения ценных элементов при снижении экологических воздействий [4].

С экономической точки зрения переработка батарей также может быть выгодной: восстановление 80–95 % ценных компонентов создаёт вторичные сырьевые потоки, которые способны заместить часть импортируемых материалов в производстве новых аккумуляторов. В ряде стран существуют жёсткие требования по сбору, отдельному накоплению и утилизации аккумуляторных отходов: например, в Европейском союзе действует Battery Regulation, устанавливающий обязательные цели по эффективности переработки и восстановлению материалов, а также правила по учёту и маркировке батарей в цепочке поставок [5].

В России и Казахстане нормативные акты в основном ориентированы на общие правила обращения с опасными отходами и аккумуляторами как видом отходов, включая требования о отдельном накоплении, передаче специализированным организациям и соблюдении правил хранения.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены с использованием современных приборов физико-химического анализа масс-спектрометр, РЭМ и РФА. Эксперименты проведены на

лабораторной экспериментальной установке. Установка состоит из специального согревающего термостата и холодильника, электромешалки, а также контактного термометра и регулятора [6-7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях использовали отработанные источники тока и полученный из него литиевые пластинки. Пластинки частично окисленные поверхности растворяли в соляной кислоте при температуре 30°C в течение 20-25 минут. Опыты проведены на экспериментальной установке (рис.1)



Рисунок 1- Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рисунок 1) состоит из специального согревающего реактора с мешалкой и контактного термометр, а также снабжена обратным холодильником и автоматизированного пульта управления. В реактор загружают соляная кислота заданной концентраций и сюда же поступает измельченный отработанный литиевые пластинки. В реакторе происходит за счет взаимодействия HCl и стружки литиевых батареек и образуются хлорид лития.

Поученные результаты исследования приведены ниже (таблица 1).

Таблица 1- Результаты разложения литиевых пластинок с соляной кислоты

№ опытов	Масса HCl (25%), г	Масса образца,г	Время растворения,мин	Масса раствора LiCl , г.	Степень образования LiCl , %
Температура 30°C					
1	20	1,0	20	20,98	98,9
2	20	1,0	25	20,99	99,6

Из таблицы 1 видно, что взаимодействия соляной кислоты отхода - смеси литий и оксид лития достигается при продолжительности процесса 20-25 минут и температуре 30°C . Степень образования хлорида лития составляет 98,9-99,6%. Таблице 2 приведены состав раствора хлорида лития.

Таблица 2 - Состав раствора хлорида лития

№	Наименование	Содержание веществ, г/л	Примечание
1	LiCl	327,37	Раствор мутный жидкость
2	NaCl	0,24	
4	CaCl_2	0,02	
5	MnCl_2	0,001	
6	FeCl_2	0,004	

Из данных таблиц 2 видно, что кроме соли LiCl раствор содержит примеси NaCl , CaCl_2 , MnCl_2 , FeCl_2 . На рисунке 2 показан дифрактограмма полученного концентрата хлорида лития.

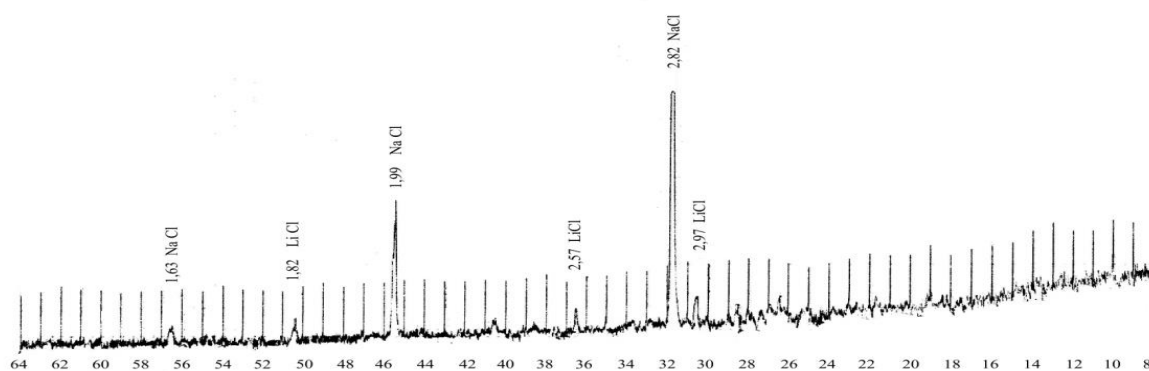


Рисунок 2- Рентгенограмма полученного осадка

На рентгенограмме осадка (рисунок 2) наблюдается соединение хлорида лития (2,97, 2,57, 1,82A°) и хлорид натрия (2,83, 1,88, 1,52A°).

Раствор хлорид лития обрабатывают кальцинированной содой при температуре 95-100°C. При этом протекает реакция с образованием Li_2CO_3 и $\text{NaCl}_{\text{р-р}}$.

Причем в осадок выпадает кристаллы Li_2CO_3 растворимость которого при 100°C составляет 0,71%. С повышением температуры растворимость Li_2CO_3 снижается.

Выпавший белый осадок карбонат лития фильтруют и осадок промывают горячей водой для удаления растворимых примеси NaCl , CaCl_2 , MnCl_2 , FeCl_2 . В таблице 3 приведены химический состав фильтрата и сухого осадка карбоната лития после сушки при температуре 110-120°C. Получен сухой порошок карбоната лития в количестве 284,21 г.

Таблица 3-Химический состав фильтрата и сухого осадка карбоната лития

№	Наименование проб	Состав, %							H ₂ O
		Li_2CO_3	Na_2O	CaO	Cl^-	Fe_2O_3	SO_4^{2-}	H.o.	
1	Сухой продукт	99,9	0,02	0,004	0,006	0,008	-	-	0,62
2	Фильтрат	0,01	52,21	0,10	0,03	0,01	-	-	47,64

Полученный карбонат лития по составу соответствует требованиям ТУ 6-09-3728-83

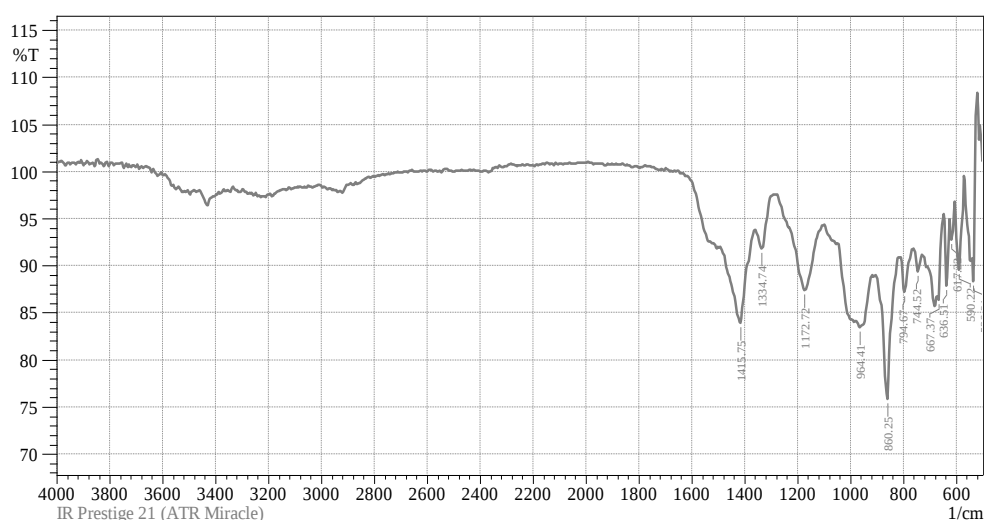


Рисунок 3- Ик-спектр полученного Li_2CO_3

Из рисунка 3 видно, что интенсивность 740,67, 860,52, 1172,72, 1415,75 cm^{-1} соответствует связи Li-CO_3^{2-} . Анализ полученного карбоната лития показывают содержание (масс, %): Li_2CO_3 -99,9; Na_2O -0,02; CaO -0,004; Fe_2O_3 -0,008; Cl -0,006; SO_4^{2-} -отс., Н.о.-отс., H_2O -0,62 и продукт карбонат лития высокой чистоты соответствует требованиям «Литий углекислый - карбонат лития» ТУ 6-09-3728-83.

Закключение

Таким образом, современные исследования и технологические разработки по переработке литий-ионных источников тока направлены на создание устойчивых, экономически эффективных и экологически безопасных технологических схем, способных обеспечить замкнутый цикл материалов между производством и вторичной переработкой. Переработка Li-ион аккумуляторов представляет собой не только экологическую необходимость, но и экономически значимый сектор, требующий развития технологий, инвестиций и совершенствования правовой среды для реализации потенциала замкнутого цикла материалов. Переработка хлорида лития полученные из отработанных батареек источника тока с карбонатом натрия позволяет получить карбонат лития высокой чистоты содержанием Li_2CO_3 -99,9%. Вместе с тем успешная реализация технологий переработки в промышленном масштабе требует совершенствования нормативно-правовой базы, обеспечения безопасного обращения с опасными компонентами и дальнейшего научно-технического развития процессов.

Список литературы

1. Nitta N., Wu F., Lee J.T., Yushin G. Li-ion battery materials: present and future // *Materials Today*. — 2015. — Vol. 18, No. 5. — P. 252–264.
2. Heelan, J., Gratz, E., Zheng, Z. et al. Current and prospective Li-ion battery recycling and recovery processes // *JOM*. – 2016. – Vol. 68, No. 10. – P. 2632–2638.
3. Velázquez-Martínez, O., Valio, J., Santasalo-Aarnio, A. et al. A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective // *Batteries*. — 2019. — Vol. 5 [45], No.4. — P. 68.
4. Thompson, D.L., Hartley, J.M., Lambert, S.M. et al. The importance of design in lithium ion battery recycling – a critical review // *Green Chemistry*. — 2020. — Vol. 22, No. 22. — P. 7585–7603.
5. Gaines, L. Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course // *Sustainable Materials and Technologies*. — 2018. — Vol. 17. — e0006
6. Zhang, Y., Wang, L., & Zhao, H. (2025). Deep eutectic solvent (DES) for one-step leaching and regeneration of NMC cathode material. *Green Chemistry*, 27(4), 1820-1833.
7. Chen, Q., et al. (2025). Selective recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using methanesulfonic acid and L-ascorbic acid. *Hydrometallurgy*, 225, 106321.

References

1. Nitta N., Wu F., Lee J.T., Yushin G. Li-ion battery materials: present and future // *Materials Today*. — 2015. — Vol. 18, No. 5. — P. 252–264.
2. Heelan, J., Gratz, E., Zheng, Z. et al. Current and prospective Li-ion battery recycling and recovery processes // *JOM*. – 2016. – Vol. 68, No. 10. – P. 2632–2638.
3. Velázquez-Martínez, O., Valio, J., Santasalo-Aarnio, A. et al. A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective // *Batteries*. — 2019. — Vol. 5 [45], No.4. — P. 68.

4. Thompson, D.L., Hartley, J.M., Lambert, S.M. et al. The importance of design in lithium ion battery recycling – a critical review // Green Chemistry. — 2020. — Vol. 22, No. 22. — P. 7585–7603.
5. Gaines, L. Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course // Sustainable Materials and Technologies. — 2018. — Vol. 17. — e0006
6. Zhang, Y., Wang, L., & Zhao, H. (2025). Deep eutectic solvent (DES) for one-step leaching and regeneration of NMC cathode material. Green Chemistry, 27(4), 1820-1833.
7. Chen, Q., et al. (2025). Selective recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using methanesulfonic acid and L-ascorbic acid. Hydrometallurgy, 225, 106321.

А.А. Анарбаев, Н.С. Бородин, Б.Н. Кабылбекова*

т.ғ.д., профессор, abib_28@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
магистрант, nikita.borodin.2016@bk.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*т.ғ.к., доцент, balzhan.kbn@bk.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ЛИТИЙ ТОК КӨЗДЕРІН МАҚСАТТЫ ӨНІМДЕРГЕ ҚАЙТА ӨНДЕУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Түйін

Жұмыста литий-ионды аккумуляторлар мен литийді қосуға арналған батареяның пайдаланылған литий көздерін өңдеу әдістері қаралды. Бастапқы және қайталама литийлік ток көздерінің жіктелуі келтірілген, олардың құрылымдық ерекшеліктері, электродты материалдардың химиялық құрамы және негізгі қауіпті компоненттері сипатталған. Механикалық дайындықты, пирометаллургиялық және гидрометаллургиялық әдістерді қоса алғанда, литий мен ілеспе металдарды (Co, Ni, Mn, Cu, Al) селективті алуға екпін жасай отырып, өндеудің негізгі кезеңдері талданды. Қазіргі заманғы зерттеулерге, патенттелген технологияларға және қайта өндеудің құрамдастырылған схемаларына, сондай-ақ төмен температуралық және экологиялық бағдарланған процестердің даму үрдістеріне ерекше назар аударылды. Рециклингтің экологиялық және экономикалық аспектілері, оның ішінде қоршаған ортаға жағымсыз әсерді төмендету, энергия шығындары және литийлік ток көздерін қайта өндеуді өнеркәсіптік енгізу перспективалары қаралды. Тұз қышқылын ыдырату жолымен пайдаланылған ток көздерінен хлорид тұзы мен литий карбонатын алуды зерттеу нәтижелері келтірілген. Литий хлориді мен карбонатын алу процесінің оңтайлы параметрлері, процесс температурасы, өндеу уақыты және тұз қышқылының концентрациясы айқындалды. Алынған литий карбонаты өнімі МЕМст талаптарына сәйкес келеді.

Кілттік сөздер: литий-ионды аккумуляторлар, батареялар, гидрометаллургия, пирометаллургия, қайталама ресурстар, литий хлориді, литий карбонаты.

A.A. Anarbayev, N.S. Borodin, B.N. Kabylbekova*

Doctor of Technical Sciences, Professor, abib_28@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
master's student, nikita.borodin.2016@bk.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

*candidate of Technical Sciences, associate professor, balzhan.kbn@bk.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF RECYCLING SPENT LITHIUM CURRENT SOURCES INTO TARGET PRODUCTS

Abstract

The paper discusses methods for processing spent lithium sources of lithium-ion batteries and batteries into a lithium compound. Primary and secondary lithium current sources are classified, their design features, chemical composition of electrode materials and main hazardous components are described. The key stages of processing were analyzed, including mechanical preparation, pyrometallurgical and hydrometallurgical methods, with an emphasis on the selective extraction of lithium and related metals (Co, Ni, Mn, Cu, Al). Particular attention is paid to modern research, patented technologies and combined processing schemes, as well as trends in the development of low-temperature and environmentally oriented processes. Ecological and economic aspects of recycling are considered, including reduction of negative impact on environment, energy consumption and prospects of industrial introduction of lithium current sources processing. The results of the study of obtaining a salt of lithium chloride and carbonate from spent current sources by decomposition of hydrochloric acid are given. Optimum parameters of the process for producing lithium chloride and carbonate, process temperature, treatment time and hydrochloric acid concentration are determined. The resulting product lithium carbonate meets the requirements of GOST. Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, батарейек, гидрометаллургия, пирометаллургия, вторичные ресурсы, хлорид лития. карбонат лития.

Keywords: lithium-ion batteries, batteries, hydrometallurgy, pyrometallurgy, secondary resources, lithium chloride. lithium carbonate.

Ж.К. Бахов*

т.ғ.д., профессор, С. Сейфуллин атындағы ҚазАТЗУ, Астана, Қазақстан

*Корреспондент авторы: zhbakhov@mail.ru

АҚДАЛ ЖӘНЕ АРЫС ТЕРМАЛДЫ СУЛАРЫН КЕШЕНДІ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Түйін

Мақалада ұсынылған материалдар Ақдала және Арыс елдімекендерден шыққан термалды минералды сулардың кешенді химиялық талдау нәтижелері. Зерттеу нәтижесінде алынған термалды минералды судағы негізгі химиялық элементтердің массалық үлесін анықтау үшін элементтік және иондық талдау қолданылды. Аталған термалды минералды суларда басым элементтер қатарын оттегі, көміртек және кальций бар екені анықталды. Иондық қатарлар бойынша карбонатты қосылыстар мен еріген минералды тұздардың айтарлықтай мөлшерін көрсетеді. Сонымен қатар, бұл термалды сулардың адам физиологиясына әсерін және емдік қасиеттерін анықтайтын макро- және микроэлементтер (Na, Mg, Si, S, Cl, K және Fe) анықталды. Ақдала және Арыстермалды су көздерінің химиялық құрамына салыстырмалы талдау жүргізілді. Арыс елдімекенінен алынған термалды суда натрий, магний және күкірттің жоғары мөлшері сипатталса, ал Ақдала елдімекеннен алынған суда кремний мен кальцийдің жоғары мөлшері бар екені көрсетілді. Ғылыми зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, аталған термалды суларды қолдану мүмкіндіктері ретінде бальнеология, медицина және спамеудеді көрсетуге болады.

Кілттік сөздер: Ақдала, термалды су, химиялық құрамы, элементтік талдау, иондық құрам, минералды сулар.

Кіріспе

Термиялық минералды сулар медицинада, бальнеологияда және спамеуде кеңінен қолданылатын маңызды табиғи ресурс болып табылады. Олардың емдік қасиеттері макро- және микроэлементтерді, сондай-ақ еріген газдар мен минералды тұздарды қамтитын күрделі химиялық құрамына байланысты [1].

Қазақстанда термалды бұлақтар көп, бірақ олардың химиялық құрамы нашар зерттелген. Су температурасының жоғарылығымен және минералды құрамының молдығымен сипатталатын Ақдала және Арыс бұлақтары ерекше қызығушылық тудырады.

Бұл зерттеудің мақсаты - Ақдала мен Арыс термалды суларының элементтік құрамын кешенді талдау және олардың биологиялық және емдік құндылығын бағалау [2].

Материалдар мен әдістер

Теориялық бөлім

Ғылыми-жұмыстың мақсаты- Ақдал және Арыс термалды суларына кешенді химиялық және гидрогеохимиялық зерттеу жүргізу арқылы олардың физика-химиялық қасиеттерін, минералдық құрамын, гидрохимиялық ерекшеліктерін және табиғи қалыптасу жағдайларын анықтау болып табылады. Зерттеу барысында термалды сулардың құрамындағы негізгі макро- және микроэлементтердің мөлшері, минералдану деңгейі, қышқылдық-сілтілік ортасы (рН), температурасы, электрөткізгіштігі және жалпы химиялық құрамы жан-жақты қарастырылады. Сонымен қатар ғылыми жұмыста термалды сулардың құрамындағы кальций, магний, натрий, калий, гидрокарбонат, сульфат, хлорид сияқты негізгі иондардың таралу ерекшеліктері анықталып, олардың геологиялық және гидрогеологиялық факторлармен байланысы зерттеледі. Термалды сулардың қалыптасуына әсер ететін табиғи процестер, жер асты суларының қозғалысы, тау жыныстарымен әрекеттесуі және температуралық режимі де

ғылыми тұрғыдан талданады. Зерттеудің маңызды бағыттарының бірі – Ақдал және Арыс термалды суларының емдік қасиеттерін бағалау. Осыған байланысты олардың құрамындағы биологиялық белсенді компоненттердің адам ағзасына әсері, бальнеологиялық маңызы және медицина саласында қолданылу мүмкіндіктері қарастырылады. Сонымен қатар термалды суларды ауыл шаруашылығында, өнеркәсіпте және тұрмыстық мақсатта тиімді пайдалану жолдарына ғылыми баға беріледі.

Зерттеудің өзектілігі термалды сулар табиғи минералды ресурстардың маңызды түрлерінің бірі болып табылады және олардың құрамы мен қасиеттерін зерттеу қазіргі гидрогеология, геохимия және экология ғылымдары үшін ерекше маңызға ие. Ақдал және Арыс термалды сулары Оңтүстік Қазақстан аймағындағы перспективалы су көздері ретінде саналады, алайда олардың толық химиялық құрамы мен гидрогеохимиялық ерекшеліктері жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Қазіргі уақытта табиғи сулардың сапасын бағалау, олардың минералдық құрамын анықтау және адам денсаулығына әсерін зерттеу мәселелері өзекті болып отыр. Әсіресе термалды сулардың емдік қасиеттері мен бальнеологиялық мүмкіндіктерін ғылыми тұрғыдан негіздеу медицина және сауықтыру салалары үшін маңызды бағыттардың бірі болып табылады.

Осыған байланысты Ақдал және Арыс термалды суларының химиялық құрамын кешенді зерттеу олардың практикалық қолданылу аясын кеңейтуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар жер асты суларының антропогендік әсерге ұшырауы, климаттық өзгерістер және табиғи ресурстарды қарқынды пайдалану жағдайында су сапасын тұрақты бақылау қажеттілігі артып келеді. Бұл термалды сулардың экологиялық жағдайын бағалауды және олардың құрамындағы ықтимал зиянды элементтерді анықтауды өзекті етеді. Ақдал және Арыс термалды суларының геохимиялық ерекшеліктерін зерттеу аймақтың гидрогеологиялық құрылымын тереңірек түсінуге, жер асты суларының қалыптасу заңдылықтарын анықтауға және су ресурстарын тиімді басқаруға ғылыми негіз бола алады. Осы себептерге байланысты жүргізілетін зерттеу жұмысы теориялық та, практикалық та тұрғыдан жоғары өзектілікке ие [3].

Зерттеу әдістемелері сканерлеуші электронды микро талдау сияқты заманауи аналитикалық әдістер биологиялық үлгілердегі элементтер концентрациясын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс табиғи материалдардың құрылымы мен құрамын зерттеу үшін кеңінен қолданылады.

Тәжрибелік бөлім

Зерттеу М.Әуезов атындағы ОҚУ-нің ИБАСЗ зертханасында жүргізілді. Сканерлеуші электронды микроталдау үшін Жетісай өңірінен алынған топырақ үлгісі пайдаланылды.

Талдау әдіснамасына мыналар кірді:

Үлгі дайындау;

Спектрлік талдау жүргізу;

Химиялық элементтердің спектрлерін тіркеу;

Элементтердің массалық үлестерін анықтау.

Арыс және Ақдала геолокациясынан үлгі алынды, олардың нәтижелері элементтердің массалық үлестері (%) ретінде берілген.

Талдау кезінде келесі элементтер анықталды: көміртек (C), оттегі (O), натрий (Na), магний (Mg), алюминий (Al), кремний (Si), фосфор (P), күкірт (S), калий (K), кальций (Ca), темір (Fe) және титан (Ti).

Нәтижелер мен оларды талдау

Жалпы элементтік құрамы

Зерттеу нысандары екі табиғи көзден алынған термалды су үлгілері болды:

- Ақдала термалды бұлағы
- Арыс термалды бұлағы

Зерттеу М. Әуезова атындағы ОҚУнің ИБАСЗ зертханасында жүргізілді. Зерттеу әдістемесі сканерлеуші электронды микроскопта талданды.

Химиялық құрамды анықтау үшін зерттелген үлгілердегі негізгі элементтердің массалық үлесін анықтауға мүмкіндік беретін элементтік талдау әдісі қолданылды. Нәтижесінде келесі химиялық элементтер анықталды:

- С – көміртегі
- О – оттегі
- Na – натрий
- Mg – магний
- Al – алюминий
- Si – кремний
- S – күкірт
- Cl – хлор
- K – калий
- Ca – кальций
- Fe – темір

Талдау нәтижелері элементтердің массалық үлестері (%) ретінде көрсетілген.

Зерттеу нәтижелері

Ақдал термалды суының химиялық құрамы

Алынған мәліметтер 1-кестеде келтірілген, Ақдал суының негізгі компоненттері оттегі, көміртек және кальций болып табылады [4].

1-кесте – Ақдала суының элементтік құрамы

№	Элемент	Мазмұны (%)
1	C	19.37
2	O	48.46
3	Na	1.03
4	Mg	5.20
5	Al	0,80
6	Si	5.40
7	S	0,43
8	Cl	0,49
9	K	0,44
10	Ca	17.07
11	Fe	1.32

Талдау нәтижелері көрсеткендей, ең үлкен үлестер оттегі (48,46%) және көміртек (19,37%). Бұл қарқынды қосылыстар мен еріген минералдардың бар екенін көрсетеді.

Кальцийдің жоғары мөлшері (17,07%) кальций карбонаттары мен бикарбонаттарының бар екенін көрсетуі мүмкін.

Кремний (5,40%) дәнекер тінінің түзілуінде және организмдегі метаболикалық процестерде рөл атқаратын маңызды биологиялық белсенді элемент.

Арыс термалды суының химиялық құрамы

Арыс суының элементтік талдау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте – Арыс суының элементтік құрамы

№	Элемент	Мазмұны (%)
1	C	19.18
2	O	46.88
3	Na	4.49
4	Mg	6.62
5	Si	1.50
6	S	3.26
7	Cl	1.28
8	K	0,23
9	Ca	15.64
10	Fe	0,93

Көрсетілген талдау нәтижесі бойынша Арыс суының құрамында оттегі мен көміртегі мөлшері басым.

Бұл Арыс термалды минералды суының ерекшеерекшелігі - мазмұныныңартуы:

- натрий (4,49%)
- магний (6,62%)
- күкірт (3,26%)

Na, Mg және S жоғары мөлшері термалды судың көпфункционалы биохимиялық белсенділігін қалыптастырады: су-тұзбалансын реттеуден айқыдық әсерге дейін (седативті, қабынуға қарсы және дерматологиялық).Бұл сульфат пен натрий тұздарының болуын көрсетеді.

Ақдала және Арыс термалды суларындағы иондарды анықтау

Элементтік талдауға сәйкес, термалды суларда судың минералды құрамын құрайтын негізгі катиондар мен аниондар 3.4-кестеде келтірілген.

3-кесте – Термалды минералды судағы негізгі катиондар [5].

Катион	Мүмкінболатын судағы формалары	Биологиялықмаңызы
Na ⁺	натрий	су-тұз балансын реттейді
Mg ²⁺	магний	Ферментативті реакцияларға қатысады
Ca ²⁺	кальций	Сүйектінінің түзілуі
K ⁺	калий	Жүйке және бұлшықет белсенділігін реттейді
Fe ²⁺ / Fe ³⁺	темір	гемоглобин синтезіне қатысады
Al ³⁺	алюминий	Іздік мөлшерде болады

4-кесте- Негізгі аниондар[6]

Анион	Мүмкін болатын формалар	анионы Сипаттамалар	Биологиялық маңызы
HCO_3^-	Гидрокарбонаттар	Судың сілтілігін анықтайды ▪ Тұщы және жер асты суларының сипаттамасы ▪ $\text{Mg}-\text{Ca}-\text{HCO}_3$ типті су түзеді	▪ Қан буферлік жүйесіне қатысады ($\text{pH} \sim 7.4$) ▪ Денедегі CO_2 тасымалдануын қамтамасыз етеді ▪ Су экожүйелерінде pH тұрақтылығын сақтайды ▪ Су өсімдіктеріндегі фотосинтез үшін маңызды
SO_4^{2-}	сульфат	Гипстің, ангидриттің еруінен және сульфидтердің тотығуынан пайда болады. ▪ Жоғары концентрацияда олар іш жүргізетін әсер тудыруы мүмкін. ▪ $\text{Na}-\text{SO}_4$ немесе $\text{Ca}-\text{SO}_4$ су түрлерінің түзілуіне қатысады. ▪ Геохимиялық тотығу процестерінің индикаторы.	Сульфат ионы өмірлік маңызды қосылыстардың синтезі үшін қажет. ▪ Оламин қышқылдарының (цистеин, метионин) құрамына кіреді. ▪ Ақуыздар мен ферменттердің синтезіне қатысады. ▪ Сульфатты тотықсыздандыратын бактериялар (күкірттің биогеохимиялық циклі) пайдаланады. ▪ Жоғары концентрацияда ішек микрофлорасын әсер етуі мүмкін.
Cl^-	хлорид	Өте қозғалмалы және тұрақты анион. ▪ Теңіз, тұз және жасанды көздер мен байланысты. ▪ Жоғары мандер ластанудың емес минералдануды көрсетеді. ▪ $\text{Na}-\text{Cl}$ типті суды түзеді.	Денедегі негізгі электролиттердің бірі. ▪ Осмотық қысым мен су балансын сақтауға қатысады. ▪ Асқазанда тұз қышқылының (HCl) түзілуі үшін қажет. ▪ Жүйке импульстарының берілуі үшін маңызды. ▪ Жасушалардың иондық балансын реттейді.
$\text{SiO}_2 / \text{H}_2\text{SiO}_3$	Кремльдің қысқысы	Кремнийдің еріген түрлерін білдіреді. ▪ Силикат минералдарының үгілуінен пайда болады. ▪ Биологиялық процестер үшін маңызды (мысалы, өсімдіктер, диатомдар). ▪ Термиялық және жерасты суларына тән.	Тірекші, бірақ маңызды биологиялық рөл атқарады. ▪ Дене ертінінің, сүйектердің және терінің түзілуіне қатысады ▪ Коллаген синтезін ынталандырады ▪ Су экожүйелерінде диатомдар (қабық құрылысы) үшін қажет ▪ Өсімдіктердің стресске төзімділігін арттыруы мүмкін

4-кестенің жалғасы

CO_3^{2-}	карбонаттар	Жоғары pH (сілтілі орта) кезінде суда кездеседі. ▪ $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ жүйесінің карбонаттық тепе-теңдігімен байланысты ▪ Гидрокарбонаттар мен салыстырғанда сирек кездеседі ▪ Жоғары сілтілі суларға тән	Минералдану және құрылымдық функция мен байланысты. ▪ Кейбір организмдерде сүйектінінің (CaCO_3) түзілуіне қатысады. ▪ Моллюскалар мен маржандардың қабықшаларының құрылысы үшін маңызды. ▪ Судағы карбонат-кальций тепе-теңдігін реттейді. ▪ Қоршаған ортаның сілтілігіне әсер етеді.
--------------------	-------------	---	--

Минералды судың түрі

Элементтердің құрамына сүйене отырып, аталған сулардың гидрохимиялық түрін болжауға болады.

Ақдала термалды суы

Құрамындағы келесі элементтердің жоғарылауымен сипатталады:

- Ca
- Si
- Mg

Ұсынылатын су түрі: **гидрокарбонат-кальций-магний кремнийлі термалды су**. Бұл судың негізгі ерекшеліктері:

- HCO_3^- (гидрокарбонаттар) – қышқыл-сілтілік тепе-теңдіктіреттейді
- Ca^{2+} (кальций) – сүйек пен тісүшінмаңызды
- Mg^{2+} (магний) – ферменттік және жүйке жүйесіне әсеретеді
- SiO_2 (кремний қышқылы) – тері, шаш, дәнекер тіндер үшін пайдалы

Гидрохимиялық мағынасы бойынша:

Жерасты жыныстарымен (карбонаттармен) ұзақ әрекеттесу нәтижесінде қалыптасады

- Әдетте жоғарғы немесе орта ағысқа тән
- Су биологиялық белсенді, емдік-сауықтыру қасиеті жоғары

Арыс термалды суы құрамы келесі элементтердің жоғары мазмұны ме нерекшеленеді:

- Na
- Mg
- Ca
- S
- Cl

Ұсынылатын **Арыс** су түрі: **сульфат-хлориді, кальций-натрий-магний термалды суы**. Бұл тип минерализациясы жоғарырақ, “қаттырақ” суға жатады.

Негізгі компоненттері:

- SO_4^{2-} (сульфаттар) – ас қорытуға әсер етеді, кейде ішжүргізгіш әсер береді
- Cl^- (хлоридтер) – су тұздылығын арттырады
- Na^+ (натрий) – су-тұзалмасуына әсеретеді
- Ca^{2+} , Mg^{2+} – қаттылық береді

Гидрохимиялық мағынасы:

- Терең қабаттардан немесе булану процесінен қалыптасады

- Көбіне төменгі ағысқа (мысалы, Арыс өзені аймағы)тән
- Су минералданған, кейде техникалық немесе шектеулі емдік мақсатта қолданылады

Нәтижелерді талқылау

Салыстырмалы талдау зерттелген сулар арасындағы белгілі бір айырмашылықтарды көрсетеді [7].

Ақдал суы келесі белгілермен сипатталады:

- кремний мөлшері жоғары
- кальций мөлшері жоғары
- Салыстырмалы түрде төмен натрий минералдануы

Арыс суы келесі белгілермен ерекшеленеді:

- кальций, натрий мен магний концентрация сының жоғарылауы
- Күкірттің айтарлық тай мөлшері
- Хлоридтердің жоғары деңгейі

Кальций мен магнийдің жоғары мөлшері метаболизмге және сүйектен саулығына оң әсері туі мүмкін. Натрий ағзаның су мен тұз балансын реттеуге көмек теседі.

Кремний терінің, шаштың және дәнекер тіндердің күйіне пайдалы әсеретеді.

Күкірттің болуы термалды судың қабынуға қарсы және антисептикалық қасиеттерін көрсетуі мүмкін.

Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде Ақдала және Арыс термалды суларының химиялық құрамына кешенді талдау жүргізілді. Талдау нәтижесінде анықталғаны:

1. Зерттелген сулардың негізгі компоненттері - оттегі, көміртек және кальций.
2. Ақдала суы құрамында кремний мен кальцийдің жоғары мөлшері мен сипатталады.
3. Арыс суында кальций, натрий, магний және күкірт мөлшері жоғары.
4. Екі термалды судың да биологиялық және емдік құндылығынан ақтайтын маңызды макро- және микроэлементтер бар.

5. Ақдала бойынша минералды судың түрі гидрокарбонат-кальций-магний кремнийлі термалды су, ал Арыс бойынша сульфат-хлоридті, кальций-натрий-магнийлі термалды су.

Алынған нәтижелер осы көздерді одан әрі зерттеу және оларды бальнеология мен курорттық терапияда қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Утебаев А.А. «Биогеохимия және экотоксикология»:Оқулық – Алматы, «TechSmith», 2020. – 208 с.
2. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. Изд: ЦентрЛитНефтеГаз, Москва, 2012 г., 672 с.
3. Петрова, Ю. С., Лебедева, Е. Л., Кузнецова, К. Я.Химический анализ природных и промышленных объектов: учебно-методическое пособие.Издательство Уральского университета. 2025— 116 с.
4. Научно-информационный журнал. Водное хозяйство Казахстана 2 (79) апрель - июнь 2018г. Астана –стр 56.
5. Gordana Bothe, Aljaz Coh, Annegret Auinger. Efficacy and safety of a natural mineral water rich in magnesium and sulphate for bowel function: a double-blind, randomized, placebo-controlled study // European Journal of Nutrition. — Springer Nature, 2017. — March (vol. 56, iss. 2). — P. 491—499. — ISSN 1436-6215. — doi:10.1007/s00394-015-1094-8.
6. Ragnar Rylander and Maurice J. Arnaud (2004) found that mineral water intake reduces blood pressure in subjects with low urinary magnesium and calcium levels, published in BMC Public

Health. 2004. — 30 November (vol. 56, iss. 4). — ISSN 1471-2458. — doi:10.1186/1471-2458-4-56.

7. Химия окружающей среды: учебно-методическое пособие/ сост.: А.Б. Дягилева, А.В. Лоренцсон, Ю.М. Чернобережский, Ю.Л. Морева/ ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2017. - 62 с.

Алғыс

Авторлар қолжазбадағы барлық ақпарат үшін, соның ішінде плагиаттың болмауы, дәйексөздің дәлдігі және жасанды интеллект жасаған жалған фактілердің болмауы үшін жауап береді.

References

1. Utebaev A.A. «Biogeoхимия және ekotoksikologia»:Oqulyq – Almaty, «TechSmith», 2020. – 208 s.
2. Krainov S.R., Ryjenko B.N., Şves V.M Geoхимия podzemnyh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty. İzd: SentrLitNefteGaz, Moskva, 2012 g., 672 s.
3. Petrova, İ. S., Lebedeva, E. L., Kuznesova, K. İa.Himicheski analiz prirodnyh i promyshlennyh obektov: uchebno-metodicheskoe posobie.İzdatelstvo Urälskogo universiteta. 2025— 116 s. ISBN: 978-5-7996-3960-0. URI: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/142624>
4. Nauchno-informasionnyi jurnal. Vodnoe hozäistvo Kazahstana 2 (79) aprel - iün 2018g. Astana –str 56.
5. Gordana Bothe, Aljaz Coh, Annegret Auinger. Efficacy and safety of a natural mineral water rich in magnesium and sulphate for bowel function: a double-blind, randomized, placebo-controlled study // European Journal of Nutrition. — Springer Nature, 2017. — March (vol. 56, iss. 2). — P. 491—499. — ISSN 1436-6215. — doi:10.1007/s00394-015-1094-8.
6. Ragnar Rylander and Maurice J. Arnaud (2004) found that mineral water intake reduces blood pressure in subjects with low urinary magnesium and calcium levels, published in BMC Public Health. 2004. — 30 November (vol. 56, iss. 4). — ISSN 1471-2458. — doi:10.1186/1471-2458-4-56.
7. Himia okrujaiuşei sredy: uchebno-metodicheskoe posobie/ sost.: A.B. Dägileva, A.V. Lorensson, İ.М. Chernoberejski, İ.Л. Moreva/ VŞTE SPbGUPTD. - SPb., 2017. - 62 s.

Ж.К. Бахов*

*д.т.н., профессор, zhbakhov@mail.ru, КазАТУ им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

КОМПЛЕКСНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД АҚДАЛА И АРЫС

Аннотация

Представленные в статье материалы являются результатами комплексного химического анализа термальных минеральных вод местности Акдала и Арыс. С помощью элементного и ионного анализа было определено массовое содержание основных химических элементов в полученных в результате исследования термальных минеральных водах. Установлено, что доминирующими элементами в этих термальных минеральных водах являются кислород, углерод и кальций. Ионный ряд показывает значительное количество карбонатных соединений и растворенных минеральных солей. Кроме того, были идентифицированы макро- и микроэлементы (Na, Mg, Si, S, Cl, K и Fe), определяющие воздействие этих термальных вод на физиологию человека и их целебные свойства. Проведен сравнительный анализ химического состава источников термальных вод Акдала и Арыс. Показано, что термальная вода из местности Арыс имеет высокое содержание натрия, магния и серы, в то время как вода из местности Акдала имеет высокое содержание кремния и кальция. На основании результатов научных исследований можно указать на бальнеологию, медицину и лечебные процедуры как на возможности использования этих термальных вод.

Ключевые слова: Акдала, термальные воды, химический состав, элементный анализ, ионный состав, минеральные воды.

Zh.K. Bakhov*

*Doctor of Technical Sciences, Professor, zhbakhov@mail.ru, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

COMPLEX CHEMICAL ANALYSIS OF AKDALA AND ARYS THERMAL WATERS

Abstract

The materials presented in this article are the results of a comprehensive chemical analysis of thermal mineral waters from the Akdala and Arys areas. Elemental and ionic analysis were used to determine the mass content of the main chemical elements in the thermal mineral waters obtained during the study. The dominant elements in these thermal mineral waters were found to be oxygen, carbon, and calcium. The ionic series revealed a significant amount of carbonate compounds and dissolved mineral salts. Furthermore, macro- and microelements (Na, Mg, Si, S, Cl, K, and Fe) were identified, which determine the effects of these thermal waters on human physiology and their healing properties. A comparative analysis of the chemical composition of the Akdala and Arys thermal water sources was conducted. It was shown that thermal water from the Arys area has a high content of sodium, magnesium, and sulfur, while water from the Akdala area has a high content of silicon and calcium. Based on the results of scientific research, balneology, medicine and therapeutic procedures can be pointed out as possibilities for using these thermal waters.

Keywords: Akdala, thermal water, chemical composition, elemental analysis, ionic composition, mineral waters.

Р.А. Козыкеева*

т.ғ.к., доцент, Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент,
Қазақстан

***Корреспондент авторы: Bakhov**

ФОТОХИМИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІРУ АРҚЫЛЫ ПОЛИЭТИЛЕН БЕТІНЕ МЫС ҚАБЫҚШАСЫН ТҰНДЫРУ

Түйін

Қазіргі таңда техника мен технологияның бірқатар маңызды салаларында полимер материалдарды металлизациялау үрдісі кең қолданыста. Полимер материалдарын металлизациялау – металл қабықшамен қапталған полимердің кейбір кемшіліктерін жойып, жаңа көпфункционалды материал синтездеу болып табылады. Өнеркәсіптік масштабтағы полимерлерді металлизациялау үрдісі салыстырмалы түрде жақында, электропластиктерді қолдану үшін арнайы жасалған полимер материалдарын шығарғаннан кейін игеріле бастады. Полимерлер мен олардың композиттері жеңілдігі, құны және технологиялық артықшылықтарының арқасында аэроғарыш, автомобиль, медицина, электронды және спорт салаларындағы құрылымдарды жобалау үшін кеңінен қолданылады. Дегенмен, полимерлі материалдардың бетінде әдетте олардың беріктігі мен функционалдығын шектейтін ішкі кемшіліктер болады, мысалы, тозуға төзімділігі төмен, жылу мен электр өткізгіштігі төмен, адгезиясы төмен, биологиялық белсенділігі төмен, шағылыстырғыштығы төмен және фотохимиялық төзімділігі төмен. Полимерлі металдандыру - бұл кемшіліктерді полимер беттерінде металл қаптаманы қалыптастыру арқылы жоятын жаңа шешім болып табылады.

Бұл мақалада полимер материалының бетіне металл нанобөлшектерінің тұндыру үшін мыс топшасы элементтері қосылыстарының әртүрлі концентрациялы ерітінділерінің жұқа сіңірімділік қабаттарын алуға фотохимиялық үрдістердің әсері зерттелді. CuCl_2 ерітіндісі сіңіріліп, күн сәулесі фотондарының әсерінен полимер бетінде мыс металының дисперсті бөлшектері тұнатыны көрсетілген. Осы кезде артық қиындықтар мен тиімсіздік туындататын химиялық тотықсыздандырғыштарды қолдану қажеттілігі жойылады. CuCl_2 ерітінділерімен өңделген полимерлер материалдарда күн сәулесі фотондары әсерінен сәйкесінше мыс және күміс нанобөлшемді бөлшектері түзіледі. Мұндай үрдістер полимер молекулаларының қатысуымен жүзеге асады, маңыздысы химиялық тотықсыздандырғыштарды қолданудың қажеттігі жоқ. Сонымен қатар, мыс хлориді аскорбин қышқылының қосымша фотохимиялық реакцияның жүзеге асуы арқылы элементтік мыс бөлшектерін синтездеуге болатыны анықталды. Күн сәулесі фотондарының әсерімен бетті фотохимиялық белсендіру әдісін қолдану арқылы полимерлерді металдандырудың маңызды тұстары нақты берілген.

Кілттік сөздер: фотохимия, мыс, полиэтилен, белсендіру, металдандыру, қабықша, мыстау, электр өткізгіштік

Кіріспе

Полимер негізіндегі материалдар соңғы онжылдықта кеңінен дамыды. Әлемдік экономиканың барлық дерлік салалары - құрылыс, көлік, өндіріс, тау-кен өнеркәсібі және білім - осы материалдарды пайдаланады және олардан айтарлықтай пайда көреді. Әлемде ғылым мен техниканың қарқынды дамуының бірқатар алғышарттарының бірі материалтану ғылымының прогрессивті сипат алуында екенінде ешқандай күмән жоқ. Осы материалтану ғылымының деректеріне сүйенер болсақ полимер нарығының өзіндік құны 1 триллион АҚШ долларынан асады. «Materials Today» ғылыми журналының сараптамалық мәліметтері бойынша полимерлерден жасалған композиттік материалдар соңғы онжылдықтағы үздік материалдардың ондығына енген. (J. Wood, 2008). Ұзақ жылдар бойы композиттік полимер материалдар синтезінің жетілдірілуі қоғамның дамуына оң әсер етіп, қазіргі заманауи

материалтану ғылымының қарқынды өркендеуіне ғылыми-технологиялық тұрғыда оңтайлы ықпал етті.

Полимерлердің металлизациясы, бетті модификациялаудың бір түрі, полимердің көлемдік қасиеттерін ғана емес, сонымен қатар металдың беттік қасиеттерін де қажет ететін қолдану салаларында өте маңызды. Алайда, беттік энергияның айтарлықтай айырмашылығына байланысты металдың полимермен берік адгезиясына қол жеткізу өте қиын екені белгілі. Газ фазасынан (PVD) физикалық тұндыру процестері полимерлердің улы емес металдандыру процестерін жүзеге асыруға мүмкіндік беретін өнеркәсіптік мәнге ие болады. Полимерлердің PVD металдандыруы ондаған жылдар бойы зерттелгенімен, металдандыру процесін мұқият түсіну қиын, өйткені ол металдың фазалық полимермен әрекеттесуіне әсер етеді, бұл күшті адгезияға әкеледі.

Дегенмен, металдандырумен байланысты PVD өңдеу нәтижесінде металдың полимермен өзара әрекеттесуін терең түсіну металдандырылған полимерлерге қойылатын талаптар өскен сайын маңызға ие болуда. Адам ағзасындағы полимерлі имплантанттар сияқты ауыр жұмыс жағдайында жүктемені көтеретін бөлшектер бұған нақты мысал бола алады, ал полимерлі төсемікке негізделген икемді электроника тағы бір мысал бола алады.

Полимерлер өздерінің ерекше қасиеттері мен экономикалық факторларына байланысты кеңінен қолданылды. Олардың керемет физикалық және механикалық сипаттамаларына қарамастан (мысалы, беріктік пен салмақтың арақатынасы, үйкеліс өнімділігі, коррозияға төзімділік, мөлдірлік және т.б.) олардың құны мен өндеудегі артықшылықтарынан басқа, полимерлер белгілі бір жағдайларда тозуға төзімділігі төмен, жылу мен электр өткізгіштігі нашар, адгезиясы әлсіз және т. б. сияқты көптеген кемшіліктерді көрсетеді. Биологиялық белсенділік, төмен шағылысу және күн сәулесіне сезімталдық (H.F. Brinson және т.б., 2008). Күн сәулесінің сезімталдығы - ұсақ-түйек болып көрінетін мәселе - АҚШ тарихындағы ең ауқымды автокөлік шолуларының біріне (8,8 миллион автомобиль) әкелді, себебі қауіпсіздік белдігін шешетін түймелер күн сәулесінің әсерінен ыдырайтын пластик акрилонитрилбутадиенстиролдан (АБС) жасалған (J.M. Henshaw және т.б., 1999). Полимерлердің биоинерттілігі теңіздегі мұнай-газ және жел қондырғылары, сондай-ақ кемелер сияқты жасанды теңіз құрылымдарының биоәртүрлілігіне әкеледі (D.M. Yebra және т.б., 2004). Тек АҚШ әскери-теңіз күштері жыл сайын өз кемелерін раковиналардан, устрицалардан және басқа организмдерден таза ұстауға шамамен 1 миллиард доллар жұмсайды (P. Vietti, 2009). Композиттердің электр өткізгіштігі төмен болғандықтан, ұшақтардың фюзеляждары найзағай соғуына осал, бұл жыл сайын авиация жасаушылар мен пайдаланушыларға 2 миллиард доллар ауыртпалық түсіреді (W. Golding, 2005). Екі мәселені де шешу үшін әртүрлі шешімдер әзірленді, мысалы, ультракүлгін және ластанудан қорғайтын бояулар, найзағайдан қорғайтын сым тор және металл фольга, бірақ көбінесе бұл шешімдер уақытша, қымбат немесе уақытты қажет етеді (Y.K. Kumar, 2018). Жалпы алғанда, полимерлердің көптеген артықшылықтары бар, бірақ олардың кемшіліктері бұл материалдардың одан әрі таралуына үлкен кедергі болып табылады.

Полимерлік материалдарды металдандыру (ПМ) – көпфункционалды қабықшаның қызметін атқаратын металқұрамды қабықшаны полимер бетіне тұндыру арқылы қапталушы материалдың бірқатар кемшіліктерін жоюдың оңтайлы шешімі болып табылады. Өз кезегінде беткі металл қабықша полимерге пайдалы қасиеттер беріп, оның қолданылу аясын кеңейтеді. Атап айтқанда, беріктік, электр өткізгіштік, қорғаныштық сияқты маңызды әрі пайдалы қасиеттері артады. Химиялық және механикалық, электрлік қасиеттерді қоса алғанда, металдандырылған полимерлердің жаңа мүмкіндіктері әртүрлі салалардағы (мысалы, автомобиль, авиация, аэроғарыш, кеме жасау, энергетика, электроника, қаптаманың қартаюуы, спорт, дизайн және жиһаз) инновацияларды шабыттандырды және күнделікті өмірге арналған

көптеген ұсақ тауарларды әзірледі. Бұл заттардың көпшілігі, мысалы, оқырман үстеліндегі жылтыр қалам.

Маңызды мәселе - белгілі бір жағдайда полимерлі материалдарды алудың ең жақсы әдісін таңдау және оның тиімділігін негіздеу. Полимерлі материалдарды (ПМ) өндірудің ең перспективалы әдістерінің бірі-газ фазасынан физикалық тұндыру (PVD) (М.О. Mavukkandy және т.б., 2020), электродсыз/химиялық қаптама (Y. Shacham-Diamand және т.б., 2015), термиялық бүрку әдістері (E. Petrovicova және т.б., 2002) және полимер–металды тікелей қосу әдістері (P. Kah және т.б., 2014). Әрбір әдіске тән технологиялық артықшылықтар мен кемшіліктер металл қабықшамен қамтамасыз етілген функционалдық мүмкіндіктердің ауқымын анықтайды (B. Fotovvati және т.б., 2019). Әр түрлі мақсаттар үшін қолайлы әдістер анықталған және полимерлі материалдарды функционалдық мүмкіндіктері мен перспективалық қолдану ауқымы сипатталған. Осы әдістердің негізгі аспектілерін түсіну ғалымдар мен инженерлерге полимерлерден/композиттерден жасалған құрылымдық материалдардың дизайны мен беріктігін оңтайландыруға көмектеседі. Қорытындылай келе, біз полимерлі материалдарды олардың беттері арасындағы химиялық және механикалық адгезияны қолдана отырып, металл қабатын полимерлі бөлікке қосу процесі ретінде анықтаймыз. Осы шолудың соңында полимерді металдандыру әдістерін қолдана отырып полимерлер мен полимерлі композиттердің одан әрі даму перспективалары келтірілген.

Материалдар және негізгі әдістер

Зерттеу тәжірибелерін жүргізу үшін ақ түсті, балку температурасы 130⁰С, тығыздығы 960 кг/м³, қалыңдығы 2 мм, ПНД 273-83 маркалы полиэтиленнен дайындалған тақташалар қолданылды. Полиэтилен тақташаларының беті алдымен механикалық өңдеуден өткізіліп, бір өлшемге келтірілді. Содан кейін натрий фосфаты мен натрий карбонаты қоспасымен майсыздандырылып, үлгі бетінің ерітіндіні сіңіру қабілетін арттыратын кедір-бұдыр ету үшін одан әрі 60-65⁰С температурада K₂Cr₂O₇ – 6,5%; H₂SO₄ - 93,5% қоспасы ерітіндісімен химиялық өңдеуден өткізілді (Гамбург Ю.Д., 2006). Зерттеу тәжірибелері ғылыми зерттеулер зертханасында жүзеге асырылды. Қапталушы үлгі бетінде негізгі үрдісті жүзеге асыруға қажетті күн сәулесі ағынының тығыздығын SM 206-Solar маркалы күн сәулесі ағынының тығыздығын өлшегіш детектор көмегі арқылы 1000-1100 Вт/м² екені анықталды (Melnikov V., 2011). Полиэтилен тақташалар бетінде фотохимиялық реакциялар жүргізу барысында CuCl₂ (100г/л) тұзының ерітінділері қолданылды. Қосымша тотықсыздандырғыш ретінде аскорбин қышқылы (40г/л) ерітіндісі қолданылды. Одан әрі полиэтилен үлгіні химиялық мыстауға жіберілді. Кейінгі мыстау келесі құрамдағы ерітіндіде жүзеге асырылды (г/л): 12 CuSO₄·5H₂O, 25 Трилон Б, NaOH – рН 12-ге дейін, HCOH – 25 мл (38%), рН = 12,5, температура 18-25⁰С.

Полимер тақташалар бетінде алынған металл құрамды қабықшалардың элементтік құрамы мен құрылымына талдау жасау барысында JSM-6490-LV маркалы растрлы электронды микроскоп қондырғысы және D8 Advance (Bruker) маркалы дифрактометрі қолданылды.

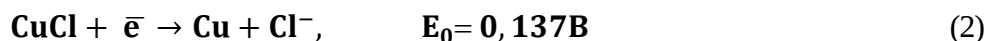
Нәтижелер және талқылау

Фотохимиялық белсендіру арқылы мыс нанобөлшектерін синтездеу. Бір валентті мыс хлоридінен жартылай өткізгіш қабаттың түзілуі CuCl₂-нің полиэтиленмен әрекеттесуі арқылы жүзеге асады.

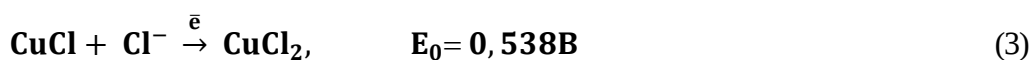


Одан әрі бірвалентті мыс хлориді екіншілік жартылай өткізгіш болғандықтан күн сәулесі

фотондарының әсерінен металдық мысқа дейін тотықсыздануына қабілетіне әкеледі:



Осыдан кейін CuCl және су молекуласы ғана электрондық донор ретінде қызмет атқара алады. Егер рН 7-ден төмен жағдайда су молекулаларының тотығуын қарастыратын болсақ 0,8 В-тан жоғары потенциалды қажет етеді, содан кейін CuCl молекулалары электрондардың таңдаулы донорлары болады.



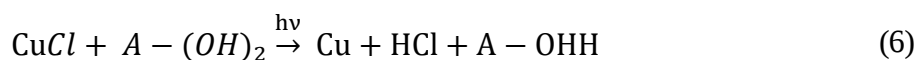
2 және 3 реакцияларының жиынтық ЭҚК -0,401В тең. Күн сәулесі арқылы алынған қосалқы энергия процесте осы көрсеткіштен асатын нақты кернеумен қамтамасыз етеді. Соның нәтижесінде кезекті фотохимиялық реакция жүзеге асады.



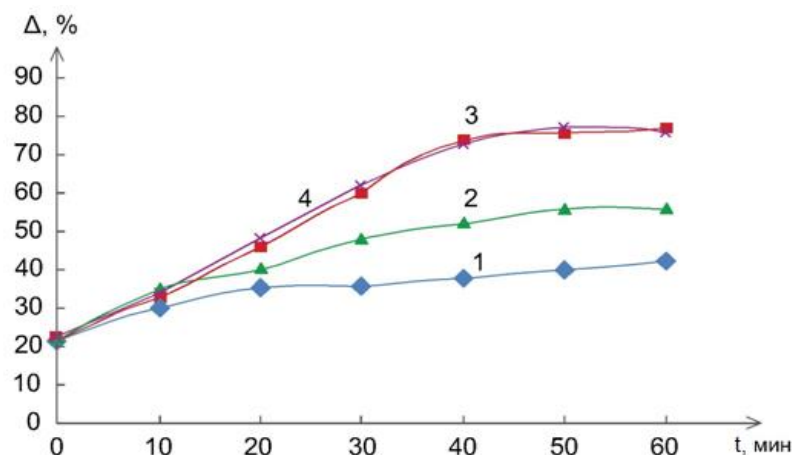
Сонымен қатар, CuCl₂ беткі қабық құрғаған кезде, кристалданады және белсенділігін жоғалтады, бұл 4-реакцияның жүруіне ықпал ететін қосымша фактор болып табылады. Кейбір әдебиеттерде (DEVIS, М. және т.б., 1999) аскорбин қышқылды жүйенің тотығу–тотықсыздану потенциалы рН мәні 0-ден 7-ге дейін көтерілген жағдайда -0,329 В-тан -0,057 В-қа дейін артатыны жазылған. Бастысы бұл жүйенің электрохимиялық тұрғыда инертті екендігі және оған "электрод катализаторларын" қосу қажет екендігі атап өтілді. Шынында да, эксперименттер CuCl₂ - 100 г/л, А-(ОН)₂-40 г/л ерітіндісіне салынған және қараңғыда кептірілген үлгіде химиялық түрленудің іздері табылмағанын көрсетті. Сондай-ақ, күн сәулесі әсерінен кептірілген қапталушы үлгілер дисперсті металл бөлшектеріне ұқсас өте жұқа қара қабықшамен жабындалған. Егерде кейбір жекелеген аймақтар полимерлі шайбамен күн сәулесінен оқшауланса, ол аймақтар еш өзгеріске ұшырамайды. Яғни, фотохимиялық процесс жүзеге аспайды. Алайда, тотықсыздану үрдісін жылдамдату үшін аскорбин қышқылымен өңделіп, CuCl ерітіндісі металдық Cu-қа ауысуы жүзеге асырылады.



Ал, негізгі фотохимиялық реакцияның жалпы механизмін келесідей өрнектеуге болады:



Жоғарыда келтірілген процестерден кейін үлгілер дистилденген сумен жуу барысында А-(ОН)₂ мен А-ООН жуылып кетеді де, үлгі бетінде Cu бөлшектерінің қабықша ретінде сақталуына әсер етеді. Полиэтилен тақташа бетінде алынған элементтік мыс қабықшасын одан әрі активатор ретінде қолдануға ұсынуға болады.



CuCl_2 концентрациясы, г/л: 1-50; 2-100; 3-150; 4-200.

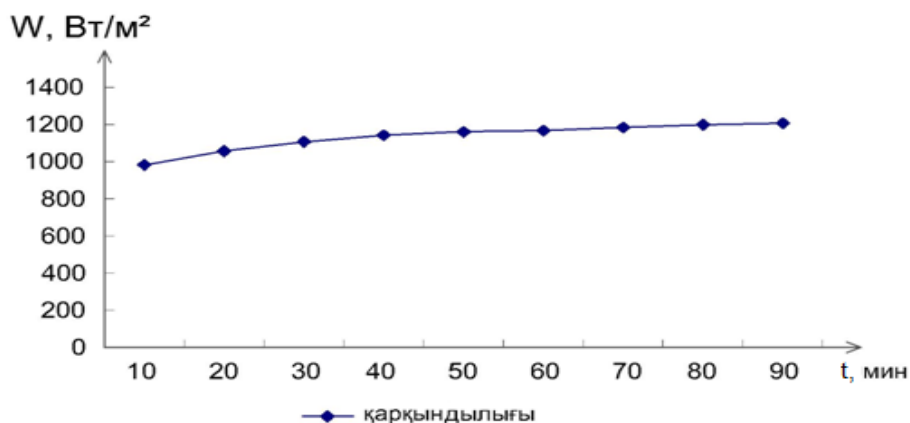
Сурет 1 - CuCl_2 ерітіндісі сіңірілген полиэтилен үлгілерінің күн сәулесі фотондары әсерінен қараю дәрежесіне концентрацияның әсері

Полиэтилен тақташаға мыс хлориді ерітіндісімен өңделгеннен кейін оптимальді деп алынған 40-60 минут, 25-40⁰С температура арасындағы күн сәулесі әсерінен қараюының минималды және максималды деңгейінің көрсеткіштері 1-кестеде келтірілді.

Кесте 1 – CuCl_2 тотықсыздану процесіндегі күн сәулесі фотондары ағынының тығыздығы

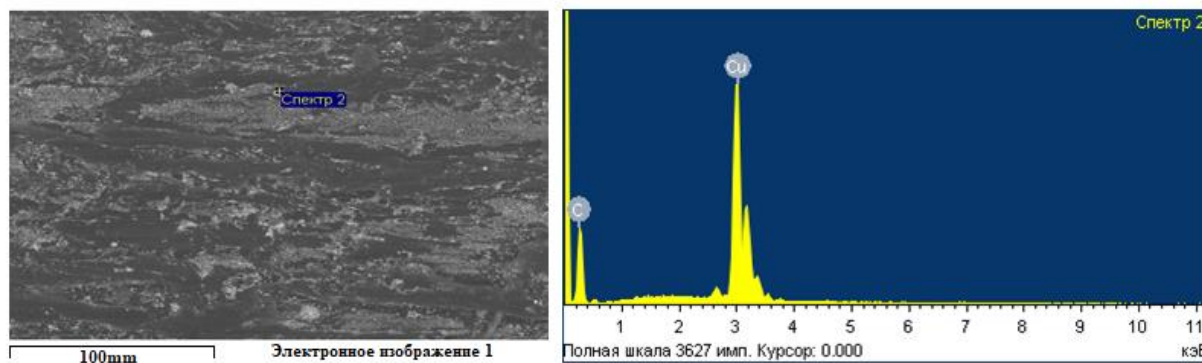
τ \ t	10	20	30	40	50	60	70	80	90
20 ⁰ С	865	910	955	1000	1072	1155	1166	1178	1192
25 ⁰ С	910	954	1001	1045	1105	1172	1183	1196	1208
30 ⁰ С	960	1006	1049	1096	1144	1187	1196	1210	1224
35 ⁰ С	1024	1069	1113	1148	1178	1196	1206	1218	1235

Оптимальді температура мен уақытты негізге алып, бірнеше рет жүзеге асырылған зерттеу тәжірибелерінен алынған сандық көрсеткіштер 1-кестеде беріліп, сол деректер негізінде CuCl_2 тотықсыздануына күн сәулесі фотондары әсерінің өзгеру динамикасы 2-суретте келтірілді.



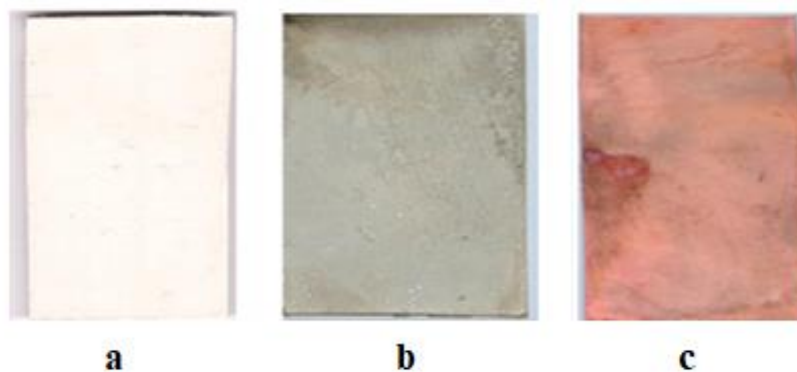
Сурет 2 - Мыс (II) хлоридінің тотықсыздану процесіндегі күн сәулесі фотондарының өзгеріс динамикасы

Төменде 3-суретте бетінде мыс құрамды қабықшасы бар полиэтиленнің элементтік құрамы 2-спектрдегі көрсеткіші келтірілді.



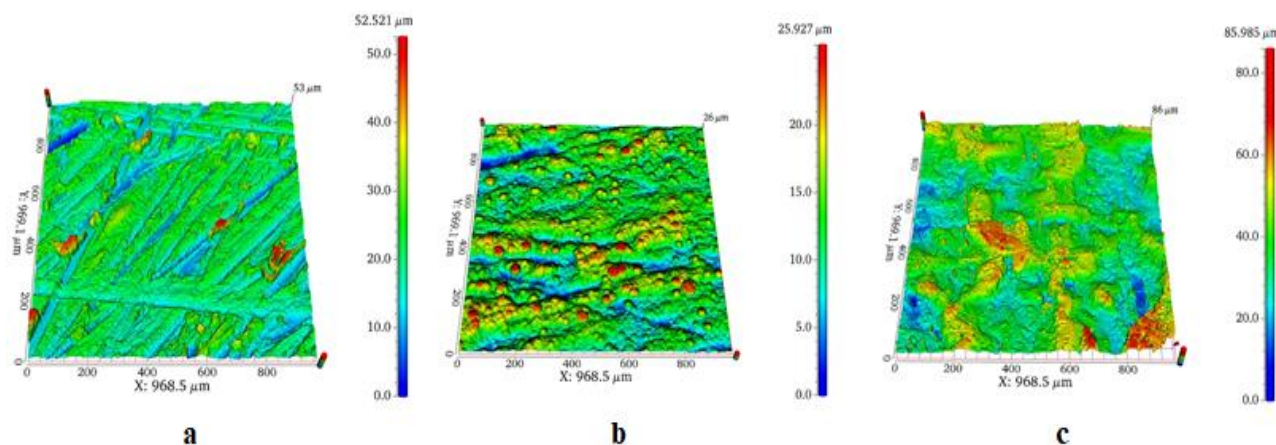
Сурет 3 – Мыс хлоридімен фотобелсендіруден кейінгі полиэтилен үлгісінің СЭМ кескіні, спектрі мен элементтік құрамы

Келтірілген СЭМ кескіндерде металл бөлшектерінің түзілгені анық көрініп тұр. Қабықшаның элементтік құрамы беткі қабаттағы хлор мөлшерінен мыстың мөлшері едәуір көп екенін дәлелдеп тұр. Сонымен қатар, бірнеше спектрлерді салыстырғанда мыс бөлшектері жеткілікті дәрежеде түзілгені байқалды. 1 см қашықтықта қапталушы үлігінің бетіндегі қабықшаның кедергісі $0,36 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ тең болды (R.Abzhalov және т.б., 2022).



Сурет 4 – Әртүрлі өңдеу сатыларынан кейінгі полиэтилен үлгілерінің кескіндері Белгіленулер: а) бастапқы полиэтилен үлгі; б) фотохимиялық белсендіруден кейінгі үлгі; с) химиялық мыстаудан кейінгі үлгі

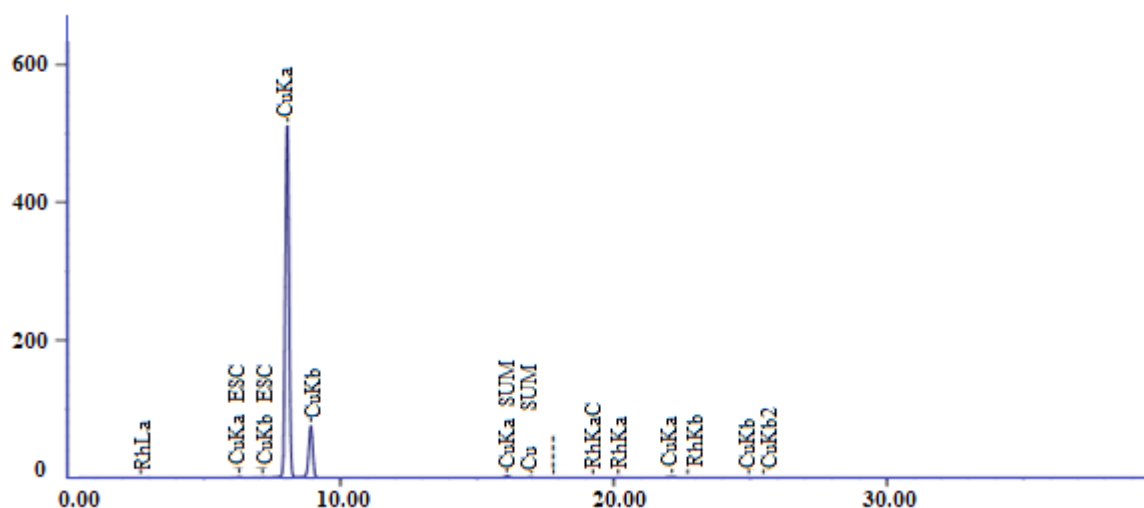
Мыс металынан тұратын қабықшаның құрылымын зерделеу барысында барлық жағдайда диаметрі бірнеше ондаған нанометрден жүздеген нанометрге дейінгі сфералы бөлшек түрінде түзілетіндігіне көз жеткізілді.



Сурет 5 - Фотохимиялық мыстау үрдісінің жекелеген кезеңдерден кейінгі полимер бетінің құрылымы және морфологиясын көрсететін үш өлшемді кескіндері Белгіленуі: а) бастапқы полиэтилен үлгі; б) фотохимиялық белсендіруден кейінгі үлгі; с) фотохимиялық мыстаудан кейінгі үлгі.

Қанық көк реңктен қызыл түске дейінгі градиент созылу тереңдігі мен биіктігінің түстік шкаласы ретінде қарастырылады. Аталған шкала беттің кедір-бұдырлық деңгейін сараптауға мүмкіншілік туғызады.

Полиэтилен бетінде мыс қабықшасының түзілуі 6-суреттегі X-рау дифрактограммада үлгі бетінің рентгенофазалық талдау нәтижесімен де нақтыланып тұр. Мұнда бастапқы үлгі полимердің құрамдас элементтерінің шыңдарынан бөлек, мыс металының шыңдары айқын көрініп тұр.



Сурет 6 – Полиэтилен бетіндегі Cu қабықшасының X-гау диффрактограммасы

Қорытынды

Күн сәулесі фотондары CuCl_2 ерітіндісімен ылғалданған полиэтилен материалына әсер еткенде, бастапқыда хлоридтің полимермен әрекеттесуіне орай моновалентті мыс хлориді түзіледі. Бұл мыс қосылысы өз кезегінде екіншілік жартылай өткізгіш болып табылады. Ол қосылыс одан әрі күн сәулесі фотондарының әсерінен элементтік мыс түзілуінің фотохимиялық реакциясы жүзеге асады, ал электрондармен бос орындарды қамтамасыз ету үшін полиэтилен үлгі аскорбин қышқылының ерітіндісімен қосымша өңделеді. Осы процестердің нәтижесінде үлгі бетінде мыстың дисперсті бөлшектері бар қабықша ($\text{CuCl}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{CuCl} \xrightarrow{h\nu} \text{Cu}$) пайда болады. Бұл қабықша химиялық мыстау үрдісінде мыс катализаторы ретінде қолданылып, нәтижесінде химиялық мыстау үрдісі арқылы электрөткізгіш мыс қаптамасы алынды. Алынған қабықшаға элементтік және компоненттік талдау, құрылымына талдау жасалып, дәйекті нәтижелері келтірілді.

Әдебиеттер тізімі

1. J. Wood, The top ten advances in materials science, Mater. Today 11 (2008) 40–45, [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(07\)70351-6](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(07)70351-6).
2. H.F. Brinson, L.C. Brinson, Polymerization and Classification. Polym. Eng. Sci. Viscoelasticity, Boston, MA: Springer, 2008, p. 99–157. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-73861-1>.
3. J.M. Henshaw, V. Wood, A.C. Hall, Failure of automobile seat belts caused by polymer degradation, Eng. Fail. Anal. 6 (1999) 13–25, [https://doi.org/10.1016/S1350-6307\(98\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S1350-6307(98)00026-0).
4. D.M. Yebra, S. Kiil, K. Dam-Johansen, Antifouling technology- Past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings, Prog. Org. Coat. 50 (2004) 75–104, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2003.06.001>.
5. P. Vietti, New hull coatings cut fuel use, protect environment, Currents 2009; Fall:36–8.
6. W. Golding, Lightning Strikes on Commercial Aircraft: How the Airlines Are Coping, J. Aviat. Educ. Res. 15 (2005) 41–50, <https://doi.org/10.15394/jaaer.2005.1511>.
7. Y.K. Kumar, Aircraft and Lightning strike. (2018), [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1921\)492.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1921)492.0.co;2).
8. M.O. Mavukkandy, S.A. McBride, D.M. Warsinger, N. Dizge, S.W. Hasan, H.A. Arafat, Thin film deposition techniques for polymeric membranes– A review, J. Memb. Sci. 610 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118258>.

9. Y. Shacham-Diamand, T. Osaka, Y. Okinaka, A. Sugiyama, V. Dubin, 30 Years of electroless plating for semiconductor and polymer micro-systems, *Microelectron. Eng.* 132 (2015) 35–45, <https://doi.org/10.1016/j.mee.2014.09.003>.
10. E. Petrovicova, L.S. Schadler, Thermal spraying of polymers, *Int. Mater. Rev.* 47 (2002) 169–190, <https://doi.org/10.1179/095066002225006566>.
11. P. Kah, R. Suoranta, J. Martikainen, C. Magnus, Techniques for joining dissimilar materials: Metals and polymers, *Rev. Adv. Mater. Sci.* 36 (2014) 152–164.
12. B. Fotovvati, N. Namdari, A. Dehghanghadikolaei, On coating techniques for surface protection: A review, *J. Manuf. Mater. Process.* 3 (2019) 22, <https://doi.org/10.3390/jmmp3010028>.
13. Гамбург Ю.Д. «Гальванические покрытия». Справочник по применению /Ю.Д. Гамбург. – М., Техносфера, 2006. — 215с.
14. Melnikov V. Renewable sources of energy. Teaching materials for people making decisions in Central Asian region / V. Melnikov // UNESCO. — 2011. — 225. Available at: <http://www.unesco.org/almaty>.
15. DEVIS, M., OSTIN, Zh., PATRIDZH, D., Vitamin C: Himija i biohimija [in Russian: Vitamin C: Chemistry and biochemistry], Moscow, Mir, 1999, 176.
16. R.Abzhalov, M. Sataev, Sh. Koshkarbayeva, G. Sagitova, B. Smailov, A. Azimov, B. Serikbaeva, O. Kolesnikova, R. Fediuk, M. Amran. Studies of the Application of Electrically Conductive Composite Copper Films to Cotton Fabrics. *Journal of Composites Science*. 2022, 6, 349. <https://doi.org/10.3390/jcs6110349>

References

1. J. Wood, The top ten advances in materials science, *Mater. Today* 11 (2008) 40–45, [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(07\)70351-6](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(07)70351-6).
2. H.F. Brinson, L.C. Brinson, Polymerization and Classification. *Polym. Eng. Sci. Viscoelasticity*, Boston, MA: Springer, 2008, p. 99–157. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73861-1_.
3. J.M. Henshaw, V. Wood, A.C. Hall, Failure of automobile seat belts caused by polymer degradation, *Eng. Fail. Anal.* 6 (1999) 13–25, [https://doi.org/10.1016/s1350-6307\(98\)00026-0](https://doi.org/10.1016/s1350-6307(98)00026-0).
4. D.M. Yebra, S. Kiil, K. Dam-Johansen, Antifouling technology- Past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings, *Prog. Org. Coat.* 50 (2004) 75–104, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2003.06.001>.
5. P. Vietti, New hull coatings cut fuel use, protect environment, *Currents* 2009; Fall:36–8.
6. W. Golding, Lightning Strikes on Commercial Aircraft: How the Airlines Are Coping, *J. Aviat. Educ. Res.* 15 (2005) 41–50, <https://doi.org/10.15394/jaaer.2005.1511>.
7. Y.K. Kumar, Aircraft and Lightning strike. (2018), [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1921\)492.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1921)492.0.co;2).
8. M.O. Mavukkandy, S.A. McBride, D.M. Warsinger, N. Dizge, S.W. Hasan, H.A. Arafat, Thin film deposition techniques for polymeric membranes— A review, *J. Memb. Sci.* 610 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118258>.
9. Y. Shacham-Diamand, T. Osaka, Y. Okinaka, A. Sugiyama, V. Dubin, 30 Years of electroless plating for semiconductor and polymer micro-systems, *Microelectron. Eng.* 132 (2015) 35–45, <https://doi.org/10.1016/j.mee.2014.09.003>.
10. E. Petrovicova, L.S. Schadler, Thermal spraying of polymers, *Int. Mater. Rev.* 47 (2002) 169–190, <https://doi.org/10.1179/095066002225006566>.
11. P. Kah, R. Suoranta, J. Martikainen, C. Magnus, Techniques for joining dissimilar materials: Metals and polymers, *Rev. Adv. Mater. Sci.* 36 (2014) 152–164.
12. B. Fotovvati, N. Namdari, A. Dehghanghadikolaei, On coating techniques for surface protection: A review, *J. Manuf. Mater. Process.* 3 (2019) 22, <https://doi.org/10.3390/jmmp3010028>.

13. Gamburg YU.D. «Gal'vanicheskiye pokrytiya». Spravochnik po primeneniyu /YU.D Gamburg – M., Tekhnosfera, 2006. – 215 s.
14. Melnikov V. Renewable sources of energy. Teaching materials for people making decisions in Central Asian region / V. Melnikov // UNESCO. — 2011. — 225. Available at: <http://www.unesco.org/almaty>.
15. DEVIS, M., OSTIN, Zh., PATRIDZH, D., Vitamin C: Himija i biohimija [in Russian: Vitamin C: Chemistry and biochemistry], Moscow, Mir, 1999, 176.
16. R.Abzhalov, M. Sataev, Sh. Koshkarbayeva, G. Sagitova, B. Smailov, A. Azimov, B. Serikbaeva, O. Kolesnikova, R. Fediuk, M. Amran. Studies of the Application of Electrically Conductive Composite Copper Films to Cotton Fabrics. Journal of Composites Science. 2022, 6, 349. <https://doi.org/10.3390/jcs6110349>

Р.А. Козыкеева*

*к.т.н., доцент, kozykeeva@bk.ru, ЮКУ имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

ОСАЖДЕНИЕ МЕДНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНА ФОТОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ

Аннотация

В настоящее время в ряде важных отраслей техники и технологии широко используется тенденция металлизации полимерных материалов. Металлизация полимерных материалов - это синтез нового многофункционального материала, устраняющий некоторые недостатки полимера, покрытого металлической оболочкой. Процесс металлизации поверхности крупномасштабных промышленных полимерных материалов начал быстро развиваться после производства полимерных изделий, разработанных для широкого применения в электропластике. Полимерные материалы в целом обладают высокой механической прочностью и легко обрабатываются в растворах для обработки, придавая поверхности высокие адгезионные свойства с металлическим покрытием. Химическая металлизация обычных полимеров может широко использоваться для производства заготовок для получения световых фильтров, дальнейших гальванических покрытий, катализаторов и др.

В этой статье изучено влияние фотохимических процессов при синтезе тонких сорбционных слоев на поверхности покрытия путем восстановления растворов галогенидов меди с различной концентрацией для осаждения наночастиц металла на поверхность полимерного материала. Показано, что раствор CuCl_2 поглощается и под действием фотонов солнечного света осаждаются дисперсные частицы металла меди на поверхности полимера. В этот момент отпадает необходимость применения химических восстановителей, вызывающих излишние трудности и неэффективность. Полимеры, обработанные растворами CuCl_2 в материалах под действием фотонов солнечного света образуются наноразмерные частицы меди и серебра соответственно. При осуществлении таких процессов нет необходимости использовать специальные химические восстановители, которые происходят в присутствии молекул полимера и галогенида меди. Однако было обнаружено, что наночастицы меди синтезируются в результате проведения фотохимической реакции с добавлением аскорбиновой кислоты для увеличения скорости восстановления хлорида меди. В целом, четко показаны результаты металлизации полимерного материала методом фотохимической активации покрываемой поверхности, восстановительным действием фотонов солнечного света.

Ключевые слова: фотохимия, мед, полиэтилен, активация, металлизация, пленка, меднение, электропроводность

R.A. Kozykeeva*

*Cand.Tech.Sci., kozykeeva@bk.ru, U. Zhanibekov South Kazakhstan Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan

DEPOSITION OF A COPPER FILM ON THE SURFACE OF POLYETHYLENE BY PHOTOCHEMICAL ACTIVATION

Abstract

Currently, the trend of polymer metallization is widely used in a number of important fields of engineering and technology. Polymer metallization is the synthesis of a new multifunctional material that addresses certain drawbacks of a polymer coated with a metal layer. The trend of polymer metallization on an industrial scale has only recently emerged, following the development of polymer materials specifically designed for use in electroplastics. Polymer materials offer a unique combination of mechanical strength and ease of processing in etching solutions, resulting in high adhesion strength with a metal coating. Chemical metallization of conventional polymers is actively used for the production of light filters, catalysts, blanks for further electroplating, etc.

In this article, the influence of photochemical processes in obtaining thin sorption layers of solutions of copper sub-group elements with different concentrations for the deposition of metal nanoparticles on the surface of a polymer material is studied. It is shown that the CuCl_2 solution is absorbed and, under the influence of sunlight photons, dispersed copper metal particles are deposited on the polymer surface. At this point, there is no need to use chemical reducing agents, which can be difficult and ineffective. Polymers treated with CuCl_2 solutions in materials produce nanosized copper and silver particles, respectively, when exposed to sunlight photons. These processes occur in the presence of polymer molecules, eliminating the need for chemical reductants. In general, due to the additional reduction of copper halide by ascorbic acid, a photochemical reaction occurs, which has been found to further synthesize simple copper nanoparticles.

Keywords: photochemistry, copper, polyethylene, activation, metallization, films, coppering, electrical conductivity

А.С. Сидиков*

д.х.н., профессор, филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина в городе Ташкент, Ташкент, Республика Узбекистан

*Автор для корреспонденции: sidikov_a@mail.ru

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОТ- И СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КРАУН-ЭФИРОВ

Аннотация

Изучены сорбционные свойства синтезированных поликраун-эфиров по отношению к ионам щелочных и переходных металлов. Показано, что для полимеров на основе диаза-дитиа-18-краун-6 и диаза-тетратиа-18-краун-6 характерна наибольшая сорбция ионов Hg^{2+} и Pb^{2+} , что объясняется фактором геометрического соответствия размеров полиэфирного кольца и диаметра катиона. Полимер с моноаза-дитиа-12-краун-4 образует устойчивый комплекс с катионом Ag^+ . Установлено, что на устойчивость комплекса влияют природа катиона и аниона, размер полости макроцикла, структура полимера и природа растворителя. Изучение физико-химических характеристик полученных полимеров показало, что они являются устойчивыми к воздействию различных агрессивных сред. Данные соединения могут быть предложены в качестве высокоселективных сорбентов в гидрометаллургии для сорбции и разделения ионов переходных металлов.

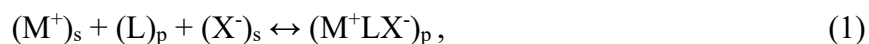
Ключевые слова: высокомолекулярные соединения, макроциклические полиэфиры, аза-эфиры, тиакраун-эфиры, полимерные краун-эфиры, сорбционная емкость, статическая обменная емкость

Введение

Целью данного исследования являлось изучение сорбционных свойств и закономерностей комплексообразования иммобилизованных аза-тиакраун-эфирных соединений с ионами переходных металлов. Наиболее важным свойством полимерных краун-соединений является их способность образовывать устойчивые комплексы. Однако, не уделено достаточного внимания особенностям комплексообразующих азот-и серосодержащих полимерных макроциклов, преимущества которых в качестве сорбентов несомненны.

В связи с этим комплексообразующие свойства иммобилизованных полиаза-тиакраун-эфиров с ионами переходных металлов исследовали атомно-адсорбционным методом. Образование комплексов в макроциклических лигандах обусловлено электростатическим ион-дипольным взаимодействием катионов с отрицательно заряженными донорными атомами азота и серы, расположенными упорядоченно в краун-эфирном кольце.

Нами подробно исследована устойчивость образующегося металлокомплекса в зависимости от структуры и относительной величины диаметра полости макроцикла и диаметра катиона, природы растворителя и аниона. Реакция комплексообразования катиона Me^{+n} с полимерными краун-эфирами в растворителе S происходит по уравнению (1):



где индексы Р и S указывают на то, что частица находится в растворе соли или на поверхности полимера соответственно. При этом анион X^- соли входит в состав ионной пары $(\text{M}^+\text{LX}^-)_{\text{p}}$ или же находится в двойном электрическом слое, компенсируя заряд комплекса Me^{+n} с поликраун-эфиром [1]. Константа равновесия к этого процесса описывается обычным уравнением адсорбции (2):

$$K = \frac{J_{ML}}{J_M J_L} \cdot \frac{[ML]}{[M] \cdot [L]} \quad (2)$$

где J_{ML} , J_M , J_L – коэффициенты активности комплекса, катиона и реагента соответственно.

Для выяснения влияния степени структурного соответствия катион-макроцикл на селективность полимерных краун-эфиров определяли их сорбционные емкости в водной среде и метилового спирта.

Материалы и методы

Экспериментальная часть

СИНТЕЗ АЗА-И ТИАКРАУН-ЭФИРОВ ПО МЕТОДУ КЕЛЛОГА

В двухлитровой трехгорлой колбе, снабженной мешалкой, двумя синхронно капающими капельными воронками, системой для ввода инертного газа и обратным холодильником, суспендировали 1,43 г (4,4 ммоль) карбоната цезия в 500 мл сухого ДМФА. Полученную смесь нагревали до 50°C и при энергичном перемешивании медленно (~12 ч) добавляли из капельных воронок раствор 0,376 г (4 ммоль) 1,2-этандитиол в 100 мл ДМФА и раствор 0,924 г (4 ммоль) бис (2-бромэтил)амин в 100 мл ДМФА. Раствор упаривали досуха в вакууме, остаток многократно экстрагировали хлористым метиленом, экстракт упаривали досуха. Выход 1,10-диаза-4,7,13,16-тетратиа-18-краун-6 (ДАТТ18К6) 45%, с температурой плавления 90-92°.

Точно так же были получены и другие 15 и 18 членные политиаазамакроциклические мономеры.

СИНТЕЗ АЗОТ- И СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КРАУН-ЭФИРОВ

Полимерные азот- и серосодержащие поликраун-эфиры получали в среде ДМФА прививкой краун-соединений к хлорметилованному полистиролу, сшитому п-ДВБ (2 масс. %), содержащие хлора 7,6-8,5 ммоль на 1 г полимера. Для получения полимеров с выходом, определенной набухаемостью и сорбционной емкостью в трехгорлую колбу, снабженную обратным холодильником, механической мешалкой, термометром, помещали хлорметилованный сополимер стирола и ДВБ в виде желтых гранул 4,0 г (18,4 ммоль С1), а также ДМФА 20-25 мл. После набухания полимера в течение суток добавляли 1,10-диаза-4,7,13,16-тетратиа-18-краун-6 4,84 краун-эфира (22,08 ммоль КЭ). При интенсивном перемешивании в течение 4-5 часов реакционную смесь нагревали при 95°C. После чего, прекратив перемешивание смесь оставляли при комнатной температуре в течение 10 часов.

Продукт реакции отфильтровывали, фильтрат промывали в диоксане и в дистиллированной воде с последующей сушкой готового продукта. Выход составляет 46,51% от теоретического. По аналогичной методике проводили иммобилизацию моноаза-4,10-дитиа-12-краун-4 (МАДТ12К4); 1,10-диаза-4,7-дитиа-18-краун-6 (ДАДТ18К6); 1,10-диаза-4,7,13-тритиа-18-краун-6 (ДАТТ18К6).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ПОЛИМЕРА

Комплексообразующие свойства полимерных краун-эфиров изучали по отношению к ионам щелочных и переходных металлов из растворов соответствующих «х.ч.» нитратных и галоидных солей. В качестве растворителей использовали дистиллированную воду, метиловый и этиловый спирты, ацетонитрил, а также смесь воды с ацетонитрилом различных составов. Все образцы полимерных краун-эфиров перед каждой серией опытов высушивали в вакуум-сушильном шкафу до постоянной массы.

Для определения сорбционной емкости поликраун-эфиров в колбу Эрленмейера помещали навеску полимера 0,2 г взвешенную с точностью до 0,0002 г, затем вносили

100 мл раствора соли соответствующего металла с концентрацией 0,2 г/л. После непрерывного перемешивания в течение 24 часов отбирали аликвотную часть и определяли остаточную концентрацию ионов металлов. Для определения концентрации катионов щелочных металлов применяли метод пламенной фотометрии. Сорбционную емкость полимера определяли [2] по следующей формуле:

$$COE = \frac{V \cdot (C_0 - C_k)}{g}, \quad (87)$$

где C_0 – начальная концентрация ионов металла в растворе, ммоль/см³;
 C_k – конечная концентрация ионов металла в растворе, ммоль/см³;
 V – общий объем раствора, см³;
 g – масса навески, г;
 COE – сорбционная емкость поликраун-эфиров, ммоль/г.

Результаты и обсуждение

Циклические полиаза-тиакраун эфиры имеют большее сродство к ионам тяжелых и переходных металлов, чем к ионам щелочных и щелочноземельных металлов. Они образуют устойчивые комплексы с ионами тяжелых и переходных металлов, потому что атом серы как донор является более мягким основанием, чем атом кислорода. Строение и состав синтезированных иммобилизованных полимеров подтверждены данными ИК-спектроскопии и элементного анализа (таблица 1).

В ИК-спектре синтезированных тиаазамакроциклов имеются частоты (см⁻¹), характерные для краун эфирных групп: 1130, С-О-С алифатического ряда и дуплет полос 3330-3430, соответствующие для N-H связи. Здесь также обнаружены частоты для валентных колебаний связи С-S-С в области 660-680. ИК-спектры исходных, промежуточных и конечных продуктов снимали на спектрометре UR-20 в тонком слое на стекле из NaCl или KBr, в таблетках с KBr (200 мг KBr и 2 мг вещества).

Таблица 1 – Элементный состав и данные поглощения ИК-спектроскопии синтезированных полимерных краун-эфиров

Поликраун-эфир	Брутто-формула	C, %	H, %	N, %	O, %	S, %	ИК-спектр, см ⁻¹ ,		
							C-O-C	C-N-C	C-S-C
МАДТ12К4	C ₁₇ H ₂₅ NOS ₂	64,1	8,3	3,9	4,2	19,5	1040	1120	685
ДАДТ18К6	C ₂₁ H ₃₄ N ₂ O ₂ S ₂	6,3	8,6	6,2	8,1	16,8	1090	1140	680
ДАТТ15К5	C ₁₉ H ₃₀ N ₂ S ₃	60,2	8,1	7,0	-	24,8	1100	1130	670
ДАТТ18К6	C ₂₁ H ₃₄ N ₂ S ₄	56,7	7,2	5,9	-	30,2	1010	1125	675

Данные о сорбционной емкости иммобилизованных полиаза-тиакраун-эфиров моноаза-4,10-дитиа-12-краун-4 (МАДТ12К4), 1,10-диаза 4,7-дитиа-18-краун-6 (ДАДТ18К6), 1,10диаза-4,7,13-три-тиа-15-краун-5 (ДАТТ15К5), 1,10-диаза-4,7,13,16-тетра-тиа-18-краун-6 (ДАТТ18К6) представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Сорбционные характеристики иммобилизованных полиаза-тиакраун-эфиров в воде

Поликраун-эфир на основе	Сорбционная емкость, мг/г				
	Катионы / в водной среде				
	Na ⁺	K ⁺	Ag ⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺
МАДТ12К4	28,68	24,73	246,28	475,4	491,95
ДАДТ18К6	32,15	60,19	222,25	429,8	445,53
ДАТТ15К5	41,78	44,53	190,16	370,9	382,74
ДАТТ18К6	32,44	76,44	210,14	404,5	421,52

Из данных таблицы видно, что сорбционная емкость существенно зависит от строения и размера макроцикла, природы катиона, а также числа атомов серы в краун-кольце. В органических растворителях сорбционная емкость полимеров выше, чем в воде. По-видимому, растворитель играет существенную роль в процессах десольватации катионов лиганда, а также сольватации образовавшегося комплекса.

Таблица 3 – Сорбционные характеристики иммобилизованных полиаза-тиакраун-эфиров в метаноле

Поликраун-эфир на основе	Сорбционная емкость, мг/г				
	Катионы / в метаноле				
	Na ⁺	K ⁺	Ag ⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺
МАДТ12К4	44,82	42,16	265,68	492	509,22
ДАДТ18К6	48,25	79,28	241,92	448	463,68
ДАТТ15К5	56,14	62,18	209,52	388	401,58
ДАТТ18К6	50,92	92,16	228,96	424	438,84

В наших исследованиях наблюдается соответствие между сорбционной емкостью и содержанием серы в макроцикле. Так, максимальное значение сорбционной емкости проявляется в случае ионов Hg²⁺ и Pb²⁺ с сорбентами, содержащими функциональные группы ДАДТ18К6 и образует устойчивый комплекс с катионом Ag⁺. Она возрастает с увеличением диаметра аниона (J⁻, SCN⁻, COO⁻, пикраты) [3-4].

ЗАВИСИМОСТЬ СОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ПОЛИАЗА-И ТИАКРАУН-ЭФИРОВ ОТ PH СРЕДЫ

Комплексообразующая способность синтезированных нами аза-тиакраун-эфиров в значительной степени зависит от количества атомов серы, участвующих в образовании макроцикла. С увеличением количества атомов серы в макроцикле увеличивается экстракционная емкость по отношению к ионам переходных металлов, таких как серебро, ртуть, свинец. Максимальные селективно-сорбционные характеристики при извлечении из растворов переходных металлов наблюдается у ДАДТ18К6, ДАТТ15К5, ДАТТ18К6.

Металлокомплексы полиаза-тиакраун-эфиров в кислых средах практически не образуются (рисунок 1).

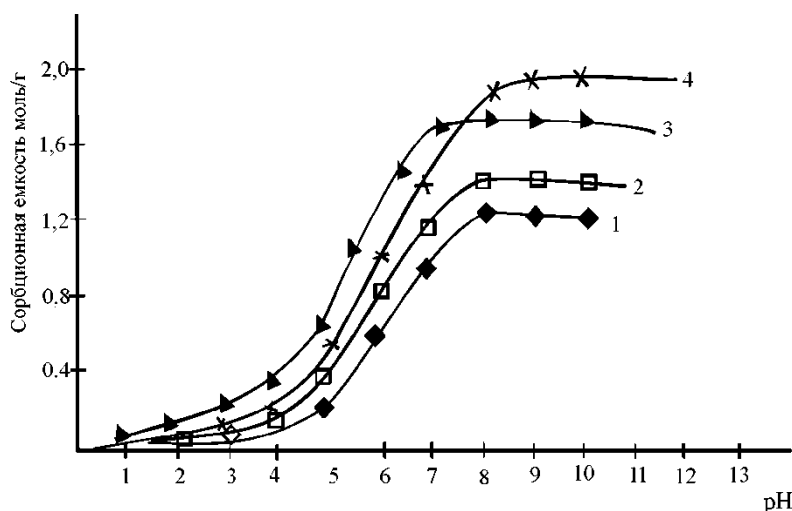


Рис. 1. Зависимость сорбционной емкости полиаза-тиакраун-эфиров от pH среды: 1 – МАДТ12К4; 2 – ДАДТ18К6; 3 – ДАТТ15К5; 4 – ДАТТ18К6

Резкий скачок наблюдается при pH раствора выше 7. Следовательно, в щелочных системах линейная макромолекула имеет вытянутую конфигурацию, что обуславливает доступность NH-C-S-NH фрагментов для катионов. В противном случае, образуемые связи OH....NH стягивают полимерную цепь в довольно сжатый клубок. При этом свободные протоны максимально заполняют полость короновидных циклов. Очевидно, данные явления способствуют потере макроциклами способности образовывать комплексы. На основании вышеизложенного можно сделать выводы о том, что pH раствора предопределяет возможность полиаза-тиакраун-эфиров к регенерации. Это в свою очередь дает возможность их многократного использования без ощутимых потерь экстракционной емкости.

В то же время эффективность комплексообразования определяется такими внешними параметрами как pH среды, температурой, природой растворителя и аниона.

При правильном подборе всех перечисленных условий возможно достижение как высоких сорбционных характеристик полиаза-и тиакраун-эфиров, так и максимально эффективных значений сорбционно-десорбционного баланса. Равновесный характер процессов образования металлокомплексов макрогетероциклов приводит к логическому выводу о регулируемости не только селективного комплексообразования, но и управляемости десорбции. Имобилизованные аза-и тиакраун-эфирные полимеры привлекают внимание исследователей в связи с широкими возможностями их практического использования в качестве эффективных высокоспецифичных комплексообразователей.

Выводы

В данной статье были приведены результаты исследования по синтезу новых комплексообразующих полиаза-тиакраун-эфиров и возможности их использования в различных областях науки и техники. Нами предложены удобные и простые способы получения различных аза-тиакраун-эфиров и полимеров на их основе. Показано, что вероятность образования циклических азатиакраун-эфиров зависит только от условий проведения процесса. На реакционную способность соединений содержащих вторичные амины оказывает влияние размер макроцикла и взаимное расположение в нем гетероатомов. Установлено, что устойчивость комплексов зависит от природы катионов и анионов, размеров полости краун-соединений, структуры полимеров и природы растворителей.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны доступные методы получения полимерных полиаза- и полиаза-тиакраун-эфиров, установлены механизмы их образования, выявлены особенности их комплексообразования с ионами переходных металлов. Найдены перспективные области их практического применения. Установлено, что описанные иммобилизованные аза- и азатиакраун-эфирные полимеры могут быть использованы в сорбционной технологии.

Список литературы

1. Ергожин Е.Е., Чалов Т.К. Редкие и благородные металлы: сорбция комплексообразующими ионообменниками. Алматы, 2014, 315с.
2. Барсуков В. И., Краснова А. В. Применение метода атомно-абсорбционной спектроскопии для анализа различного состава воды // Вестник ТГТУ, 2014, №1, С.110-116.
3. Мун Г. А., Нуркеева З. С., Дуболазов А. В. Межмакромолекулярные реакции и интерполимерные комплексы в водных растворах // Вестник КазНУ. Серия химическая, 2005, № 4, С. 129-140.
4. Джумекеева А., Талгатов Э., Ауезханова А., Кенжеева А., Найзабаев А. Комплексообразование ионов палладия (II) с органическими полимерами различной природы // Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026, Т. 466, №1, С.70–82. doi: 10.32014/2026.2518-1491.341.
5. Ахмедсханова Ф. М., Мухамедиев М. Г. Синтез и исследование свойств азот- и серосодержащих комплексообразующих сорбентов // Журнал прикладной химии, 2021, Т. 94, № 8, С. 1012-1019.
6. Байгушева Т. С., Мун Г. А. Стимул-чувствительные комплексообразующие полимеры в процессах разделения жидких сред // Высокомолекулярные соединения. Серия А., 2019, Т. 61, № 4, С. 345-356.
7. Zainal A., Smith R. Recent advances in chelating polymers: Synthesis, properties and industrial applications // Reactive and Functional Polymers, 2026, V. 215, P. 106-120.

References

1. Ergozhin E.E., CHalov T.K. Redkie i blagorodnye metally: sorbciya komplekssoobrazuyushchimi ionoobmennikami. Almaty, 2014, 315s.
2. Barsukov V. I., Krasnova A. V. Primenenie metoda atomno-absorbcionnoj spektroskopii dlya analiza razlichnogo sostava vody // Vestnik TGTU, 2014, №1, S.110-116.
3. Mun G. A., Nurkeeva Z. S., Dubolazov A. V. Mezhmakromolekulyarnye reakcii i interpolimernye komplekсы v vodnyh rastvorah // Vestnik KazNU. Seriya himicheskaya, 2005, № 4, S. 129-140.
4. Dzhumekeeva A., Talgatov E., Auezkhanova A., Kenzheeva A., Najzabaev A. Kompleksoobrazovanie ionov palladiya (II) s organicheskimi polimerami razlichnoj prirody // Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026, T. 466, №1, S.70–82. doi: 10.32014/2026.2518-1491.341.
5. Ahmedskhanova F. M., Muhamediev M. G. Sintez i issledovanie svojstv azot- i serosoderzhashchih komplekssoobrazuyushchih sorbentov // ZHurnal prikladnoj himii, 2021, T. 94, № 8, S. 1012-1019.
6. Bajgusheva T. S., Mun G. A. Stimul-chuvstvitel'nye komplekssoobrazuyushchie polimery v processah razdeleniya zhidkih sred // Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A., 2019, T. 61, № 4, S. 345-356.
7. Zainal A., Smith R. Recent advances in chelating polymers: Synthesis, properties and industrial applications // Reactive and Functional Polymers, 2026, V. 215, P. 106-120.

А. С. Сидиков*

х.ғ.д., профессор, sidikov_a@mail.ru, И. М. Губкин атындағы Ресей мемлекеттік мұнай және газ университетінің (ГЗУ) филиалы Ташкент қаласында, Ташкент, Өзбекстан Республикасы

ҚҰРАМЫНДА АЗОТ ЖӘНЕ КҮКІРТ БАР ПОЛИМЕРЛІ ТӘЖ ЭФИРЛЕРІНІҢ СОРБЦИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Түйін

Синтезделген поликраун эфирлерінің сілтілік және өтпелі металл иондарына қатысты сорбциялық қасиеттері зерттелді. Диаза-дитиа-18-тәж-6 және диаза-тетратиа-18-тәж-6 негізіндегі полимерлер Hg^+ және Pb^{2+} иондарының ең жоғары сорбциясын көрсететіні көрсетілді, бұл полиэфир сақинасының өлшемі мен катион диаметрі арасындағы геометриялық сәйкестікпен түсіндіріледі. Моноаза-дитиа-12-тәж-4 бар полимер Ag^+ катионымен тұрақты кешен түзеді. Кешеннің тұрақтылығына катион мен анионның табиғаты, макроцикл қуысының өлшемі, полимер құрылымы және еріткіштің табиғаты әсер ететіні анықталды. Алынған полимерлердің физика-химиялық сипаттамаларын зерттеу олардың әртүрлі агрессивті орталарға төзімді екенін көрсетті. Бұл қосылыстарды гидрометаллургияда өтпелі металл иондарын сорбциялау және бөлу үшін жоғары селективті сорбенттер ретінде ұсынуға болады.

Кілттік сөздер: Жоғары молекулалық қосылыстар, макроциклді полиэфирлер, аза эфирлері, тиакраун эфирлері, полимерлі тәж эфирлері, сорбциялық сыйымдылық, статикалық айырбас сыйымдылығы

A.S. Sidikov*

Doctor of Chemical Sciences, Professor, sidikov_a@mail.ru, Gubkin Branch of the Russian State University of Oil and Gas in Tashkent, Tashkent, Republic of Uzbekistan

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF SORPTION CHARACTERISTICS OF NITROGEN- AND SULFUR-CONTAINING POLYMER CROWN ESTERS

Abstract

The sorption properties of synthesized polycrown ethers with respect to alkali and transition metal ions were studied. Polymers based on diaza-dithia-18-crown-6 and diaza-tetrathia-18-crown-6 were shown to exhibit the highest sorption of Hg^{2+} and Pb^{2+} ions, which is explained by the geometric correspondence between the polyether ring size and the cation diameter. The polymer with monoaza-dithia-12-crown-4 forms a stable complex with the Ag^+ cation. It was established that the stability of the complex is affected by the nature of the cation and anion, the size of the macrocycle cavity, the polymer structure, and the nature of the solvent. A study of the physicochemical characteristics of the obtained polymers showed that they are resistant to various aggressive environments. These compounds can be proposed as highly selective sorbents in hydrometallurgy for the sorption and separation of transition metal ions.

Keywords: high molecular weight compounds, macrocyclic polyesters, aza esters, thiacycrown esters, polymer crown esters, sorption capacity, static exchange capacity

A. Tevyashova*, N. Kuhnert

Dr., Professor, School of Science of Constructor university, Bremen, Germany

Dr., School of Science of Constructor university, Bremen, Germany

***Corresponding author:** anna.tevyashova@constructor.university.com

MATHEMATICAL MODELING OF DEVELOPED COMPOSITE POLYMER STABILIZERS

Abstract

This paper examines current mathematical modeling methods used for the development and optimization of composite polymer stabilizers. A review of key challenges related to the stability of polymer materials is provided, along with a discussion of modern computational approaches, including molecular dynamics, finite element analysis, thermodynamic modeling, and machine learning. The necessity of an interdisciplinary approach integrating chemistry, materials science, and computational technologies is justified. Perspectives on the further development of modeling methods to enhance the efficiency and stability of polymer stabilizers are presented.

Keywords: mathematical modeling, polymer stabilizers, molecular dynamics, machine learning, thermodynamic modeling.

Introduction. Mathematical modeling of drilling fluids is an effective method of scientific analysis and forecasting that allows their behavior to be studied and described in complex thermobaric conditions and under the influence of mineralized formation waters. The use of mathematical models makes it possible to calculate rheological and filtration parameters in advance, which contributes to a more informed selection of the fluid composition and reduces the amount of costly experimental research. Modeling is especially relevant in the development and application of new polymer stabilizers, as it allows for the evaluation of their effectiveness, the determination of optimal concentrations and conditions of use, and the identification of the limits of reagent performance in real drilling conditions. Thus, mathematical modeling serves not only as a tool for optimizing technological processes and improving the safety of drilling operations, but also as a theoretical basis for improving the chemical and technological systems of drilling fluids based on modified polymers [1-3].

The development of industries such as oil and gas, water treatment, and biomedicine requires the improvement of polymer materials with high stability and operational reliability. Composite polymer stabilizers help extend equipment lifespan, enhance process efficiency, and minimize environmental risks. One of the key methods for their development is mathematical modeling, which enables accurate prediction of material properties and optimization of their composition.

The aim of this study is to analyze modern approaches to mathematical modeling of polymer stabilizers and discuss their potential applications in predicting the thermal, chemical, and mechanical stability of materials.

Materials and methods. Regression analysis was performed to assess the relationship between the parameters under study. For this purpose, a design matrix was compiled, which made it possible to systematically analyze the influence of individual factors and their interactions. An important statistical indicator of this analysis is the coefficient of determination (R^2), which reflects the proportion of variance explained by the model and, therefore, the adequacy of the regression equation obtained. The methods and research presented were carried out as part of the Bolashak program at Constructor University.

Results and discussion. Mathematical processing of the experimental data consisted in

constructing the answer in the form of $z = f(x_1, x_2, x_3)$. The investigated parameter z was the changes in physico-chemical properties during the copolymerization of acrylonitrile and vinylsulfonic acids, their hydrolysis and further modification [4-6].

Analyzing the data obtained during hydrolysis and modification of the copolymer using gossypol resin and fatty acids, graphs were constructed for comparison with trend dependence, and a regression ratio was determined for each factor. (Fig. 1, 2).

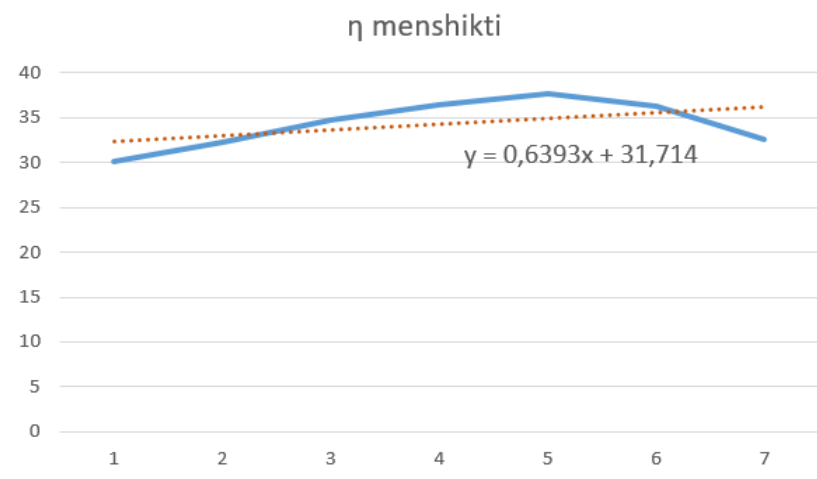


Fig. 1– Diagram for the eigenvalue factor η

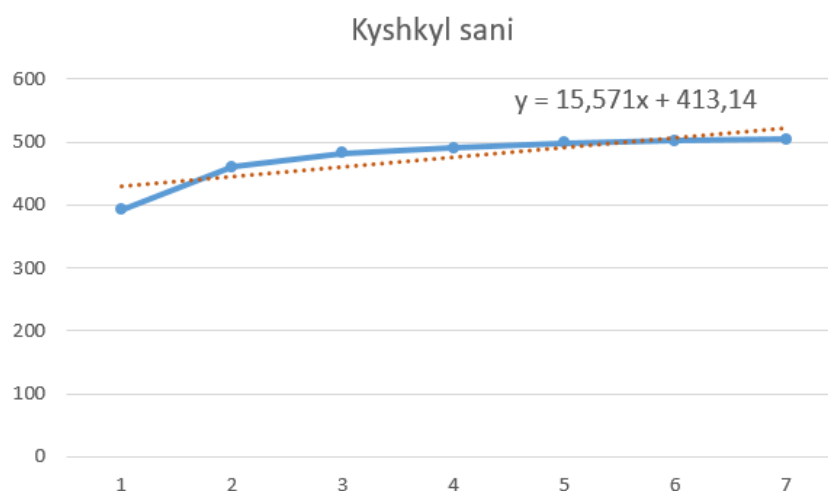


Fig. 2 – Diagram for acid number factor

Analysis was carried out according to the copolymerization data of acrylonitrile and vinylsulfonic acid (Fig. 3).

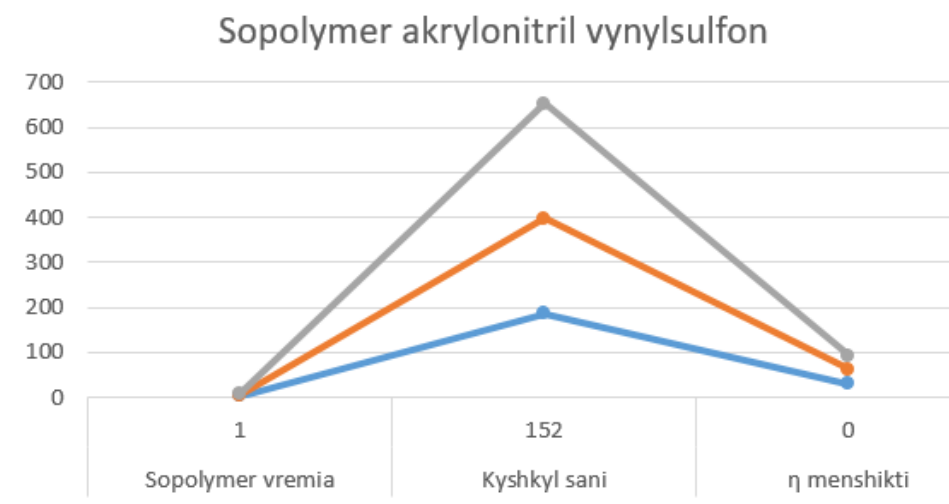


Fig. 3 – Acrylonitrile and vinylsulfonic acid copolymerization details

Regression analysis was performed according to the copolymerization data of acrylonitrile and vinylsulfonic acid (Table 1).

Table 1 – Regression analysis according to the copolymerization data of acrylonitrile and vinylsulfonic acid

	a11	a12	a13
a11	1		
a12	0,9956703	1	1
a13	0,7829549	0,758626294	

The design matrix is a statistical analysis tool that allows determining the degree of dependency between variables, evaluating their interrelationships, and using the obtained data for forecasting or decision-making. Each cell in the table shows the dependency between two specific variables.

The design matrix helps identify how changes in one variable can affect another, and based on this, make predictions, optimize processes, and make informed decisions.

The calculated coefficients of the design matrix indicate the strength of the relationship between the factors. The larger the absolute value of the coefficients, the closer the corresponding factor is to the result. The analysis of the matrix consists of two stages:

1. If there are elements in the first column of the calculated design matrix where $|r^{xy}| < 0.5$, the factors that meet this condition are removed from the model.
2. When considering the correlation of the calculated coefficients of the factors in the design matrix, it is necessary to assess their independence from each other. This is a required condition for regression analysis.

According to our calculations, the values of all parameters are at an adequate level, as shown in Table 2.

Table 2 – Regression Statistics

Multiple R	0,758626294
R-squared	0,575513853
Adjusted R-squared	0,36327078
Standard Error	34,76366004
Observations	4

Another important indicator is R-squared, also known as the coefficient of determination. It represents the proportion of the variance in the response variable that can be explained by the predictor variable.

The value of R-squared can range from 0 to 1. A value of 0 indicates that the response variable cannot be explained at all by the predictor variable. A value of 1 indicates that the response variable can be fully explained without error by the predictor variable.

One of the important indicators is the value located at the intersection of the "Y-intercept" row and the "coefficients" column. Here, the value of the "Y-intercept" is crucial. According to the calculations, this value is 151.43 (Table 3).

Table 3 – Coefficients

	Coefficients
Y-intercept	151,4289433
Variable X1	2,157608561

Additionally, the value at the intersection of the "Variable X1" row and the "Coefficients" column shows the level of dependency between Y and X. The coefficient of 2.158, obtained from the calculations, is considered a very high indicator of effect.

The calculations were performed using the "least squares method." The least squares method is a statistical procedure used to predict the behavior of dependent variables accurately. The essence of the least squares method is to find the closest approximation to reality among all linear functions. This can be done by searching for the function with the smallest deviation, or more precisely, by finding the minimal sum of squared deviations of the Y values from the regression equation obtained during the process.

The regression equation is written as follows:

$$Y=2.158x+151,429 \quad (1)$$

MatLab is a popular tool used for working with matrix data, virtualization, and mathematics. The MATLAB language is high-level and is used for modeling mechanical and chemical-technological processes. It includes an application package as well as an integrated development environment (IDE). MATLAB allows for efficient numerical computation, data visualization, and algorithm development, making it widely used in various fields such as engineering, science, and economics.

The regression equation results were obtained by solving through the values of the factors using programming code in the MatLab programming environment.

MatLab provides commands and functions for creating three-dimensional graphs. The values of elements in a numerical array are considered as points on a plane defined by the X and Y coordinates, with the Z coordinates representing the height above the plane. These functions and commands perform operations like connecting points in a cross-section (using the plot3 function) and creating mesh surfaces (using the mesh and surf functions). The surface drawn with the mesh function is a mesh surface, where its cells have a background color, and their boundaries can have a color

defined by the EdgeColor property of the surface graphical object.

To graphically display the results of the regression equation, we use the functions of the MatLab programming environment. Using the mesh function, the following type of plot was obtained (Figures 4, 5, 6).

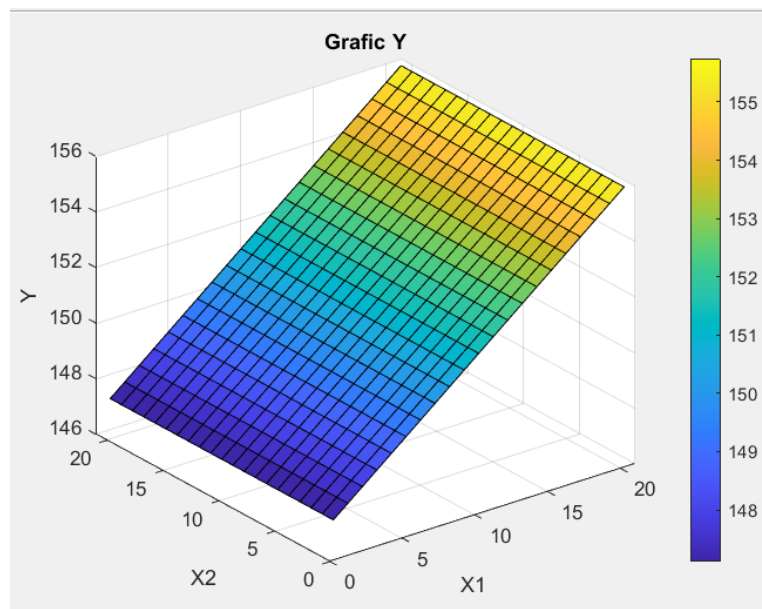


Fig. 4 – Results of the regression equation using the surf function

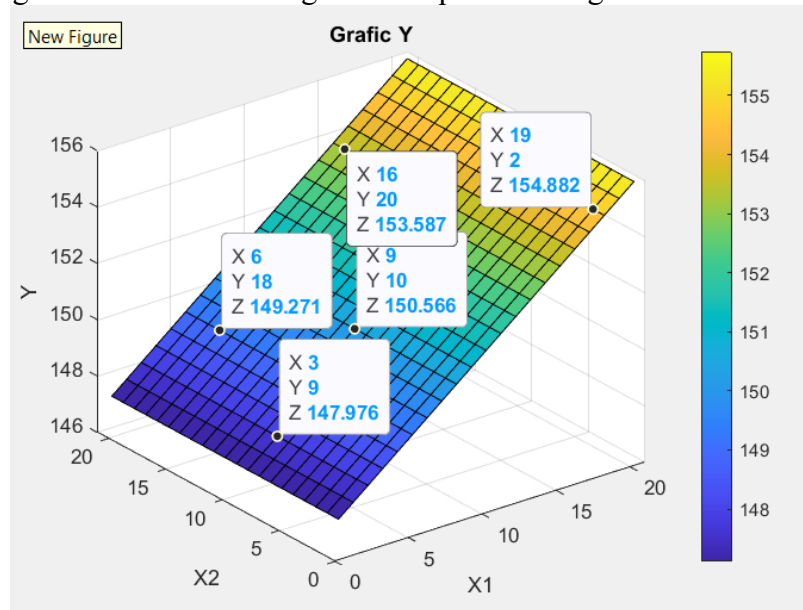


Fig. 5 – Results of the regression equation with the coordinates of the given point

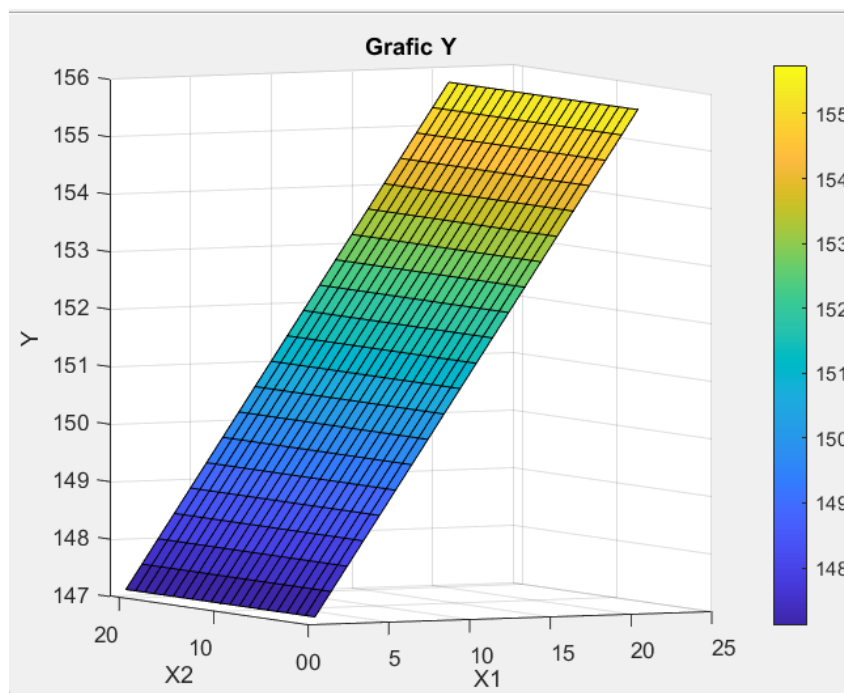


Fig. 6 – Visualization of the calculation results with step reduction

The residual values in the calculations are very small and satisfy all given conditions. We determine the standard errors, i.e., we calculate the deviations of the observed values from the regression line. These calculated values also satisfy the conditions [7-9].

During the data analysis, we calculate the following parameters:

df – degrees of freedom of the regression, which is equal to the number of regression coefficients.

$$df = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{(s_1^2/n_1)^2/(n_1-1) + (s_2^2/n_2)^2/(n_2-1)} \quad (2)$$

SS_l – the sum of the squared residuals is calculated using the following formula:

$$SS_l = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^a (n_i - 1) s_i^2 = (n_1 - 1) s_1^2 + \dots + (n_i - 1) s_i^2 \quad (3)$$

MS_a – the mean squared residuals (also known as the mean squared error, MSE) are calculated using the following formulas:

$$MS_a = \frac{SS_a}{a-1} \quad (4)$$

$$MS_l = \frac{SS_l}{a-1} \quad (5)$$

The F-statistic is calculated as the ratio of the Mean Square of the regression ($MS_{\text{regression}}$) to the Mean Square of the residuals (MS_{residual}). This statistic shows how well the regression model fits the data compared to a model without independent variables. Essentially, it tests whether the regression model is generally useful.

The formula for the F-statistic is:

$$F = \frac{MS_a}{MS_l} \quad (6)$$

The calculation results are as follows (Table 4):

Table 4 – Calculation Results

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	1	3276,075882	3276,975882	2,71157897	0,241373706
Residual	2	2417,024118	1208,512059		
Total	3	5694			

Each individual coefficient is interpreted as the average increase in the response variable for each unit increase of the corresponding predictor variable, assuming all other predictor variables remain constant. The accuracy of the regression analysis is checked according to Student's criteria.

Student's t-test is used to determine the statistical significance of the differences between means. To calculate this criterion, the mean value of the parameter from the first group is subtracted from the mean value of the parameter from the second group, and the result is divided by the sum of the squared errors. The latter is necessary to scale the t-criterion to the required measure.

Conditions for using the t-statistic:

- The data must be numerical;
- The data should follow a normal distribution;
- The Student's t-test can only be used to test the hypothesis of the difference between the means of two groups (if we are comparing multiple groups, then in most cases, we use analysis of variance (ANOVA));
- The variances of the two samples we are comparing should be approximately equal.

The data in the t-statistics column of the table represent the values of Student's t-test and are calculated using the following formula:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

Table 5 – Regression Analysis

	Coefficients	Standard Error	t- statistic	p-Value
Y Intercept	151,4289433	34,76131416	4,356249095	0,048865385
Variable X1	2,157608561	1,310272205	1,646687271	0,241373706

The calculated values of the t-criterion in the table are analyzed. For each group, the number of given pre-studied factors is taken into account. The value of the degrees of freedom *f* is determined using the following formula:

$$f = (n_1 + n_2) - 2 \quad (8)$$

After all the calculations, we concluded that the t-criterion's required significance level is appropriate. The calculated t-statistic is sufficiently large, exceeding the critical value. This allows us to conclude that the observed differences are statistically significant (significance level $p < 0.05$) [10-12].

Conclusion. Mathematical modeling is a powerful tool for developing new polymer stabilizers, allowing their properties to be predicted and their composition to be optimized without the need for extensive experimental testing. Modern computational approaches, such as molecular dynamics, finite element analysis, and machine learning, open up new opportunities for creating materials with improved characteristics. Further development of hybrid models and interdisciplinary approaches will significantly increase the efficiency of polymer composition design. The calculated values of the t-criterion were analyzed, and after all calculations, we concluded that the required level of significance of the t-criterion meets the requirements. Statistics show how well the regression model fits the data compared to a model without independent variables.

References

1. Mahto V., Sharma V. Rheological study of a water based oil well drilling fluid // J. Pet. Sci. Eng. (2004) 123-128.
2. Rongxuan Hou; Patrick Matthew T. Chua; Kevin Cosing Tanet al. Trends in The Ongoing Research Regarding The Role of Xanthan Gum in Sustainable Geotechnical Engineering. Publication info Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES). 11 (2024) 276 – 281.
3. Artykova, Zhadyra, Beisenbayev, Oral, Issa, Aziza and Kydyraliyeva, Aigul, Modification of polymers to synthesize thermo-salt-resistant stabilizers of drilling fluids. Open Engineering. 15(1) (2025) 20240097.
4. Artykova Zh.K., Beisenbayev O.K., Issa A.K., Kydyraliyeva A.Sh., Yegemberdieva S., The effect of polymer properties on the rheological behavior of Darbaza clay-Based Suspensions. A comparative experimental study on molecular weight, composition, and concentration effects. Engineering, Technology & Applied Science Research. 15(6) (2025) 29641-29646.
5. Alicia Lee Jia Wong; Anthony Nyangson Steven; Shamila Azmanet al. Effects of nutrients and photoperiod on production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) by thermophilic cyanobacteria. Publication info Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES). 11 (2023) 933 – 938.
6. Hamed S.B., Belhadri M. Rheological properties of biopolymers drilling fluids // J. Pet. Sci. Eng. (2009) 84-90.
7. Liu T., Leusheva E., Morenov V. et al. Influence of Polymer Reagents in the Drilling Fluids on the Efficiency of Deviated and Horizontal Wells Drilling // Energies. (2020) 4704-1-4704-16
8. Moradi S.S.T., Nikolaev N., Chudinova I. Geomechanical Analysis of Wellbore Stability in High-pressure, High-temperature Formations // In Proceed. of the Eage conf.& Exhibition.- Paris (2017) 1-3.
9. Myslyuk, M.A. On the interpretation of drilling fluids rotational viscometry data //Procced. Neft. Khozyaystvo Oil Ind. - Ivano-Frankivsk (2018) 50-53.
10. Adewale J., Lucky A.P., Abioye P. et al. Selecting the most appropriate model for rheological characterization of syntheticbased drilling mud // IJAER (2017) 7614-7629.
11. Dvoynikov M.V., Kuchin V.N., Mintzaev M.S. Development of viscoelastic systems and technologies for isolating water-bearing horizons with abnormal formation pressures during oil and gas wells drilling // J. Min. Inst. (2021) 57-65.
12. Reference to a chapter in an edited book:
13. Yu. Lazarev, Modeling Processes and Systems in MATLAB: Textbook, St. Petersburg, 2005, pp. 490–512.
14. A.M. Gumerov, Mathematical Modeling of Chemical and Technological Processes: Textbook. 2nd edition, revised. St. Petersburg: Lan, 2014, pp. 160-176.

А. Тевяшова*, Н. Куннерт

доктор, профессор, anna.tevyashova@constructor.university.com, Конструктор университетінің Ғылым мектебі, Бремен, Германия

доктор, kuhnert@constructor.university.com, Конструктор университетінің Ғылым мектебі, Бремен, Германия

ӘЗІРЛЕНГЕН КОМПОЗИТТІК ПОЛИМЕРЛІ ТҰРАҚТАНДЫРҒЫШТАРДЫ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Түйін

Бұл жұмыста композиттік полимерлі тұрақтандырғыштарды жасау және оңтайландыру үшін қолданылатын математикалық модельдеудің қазіргі әдістері қарастырылған. Полимерлі материалдардың тұрақтылығына қатысты негізгі мәселелерге шолу, сонымен қатар молекулалық динамика, ақырлы элементтерді талдау, термодинамикалық модельдеу және машиналық оқытуды қоса алғанда, заманауи есептеу тәсілдерін талқылау қарастырылған. Химия, материалтану және есептеу технологияларын біріктіретін пәнаралық тәсілдің қажеттілігі негізделген. Полимерлі тұрақтандырғыштардың тиімділігі мен тұрақтылығын арттыру үшін модельдеу әдістерін одан әрі дамыту перспективалары ұсынылған.

Кілттік сөздер: математикалық модельдеу, полимерлі тұрақтандырғыштар, молекулалық динамика, машиналық оқыту, термодинамикалық модельдеу.

А. Тевяшова*, Н. Куннерт

доктор, профессор, anna.tevyashova@constructor.university.com, Научный факультет Конструкторского университета, Бремен, Германия

доктор, kuhnert@constructor.university.com, Научный факультет Конструкторского университета, Бремен, Германия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Аннотация

В данной статье рассматриваются современные методы математического моделирования, используемые для разработки и оптимизации композитных полимерных стабилизаторов. Дается обзор ключевых проблем, связанных со стабильностью полимерных материалов, а также обсуждаются современные вычислительные подходы, включая молекулярную динамику, конечно-элементный анализ, термодинамическое моделирование и машинное обучение. Обоснована необходимость междисциплинарного подхода, объединяющего химию, материаловедение и вычислительные технологии. Представлены перспективы дальнейшего развития методов моделирования для повышения эффективности и стабильности полимерных стабилизаторов.

Ключевые слова: математическое моделирование, полимерные стабилизаторы, молекулярная динамика, машинное обучение, термодинамическое моделирование.

А.Н. Турдыбаева*, Н.К. Сарыпбекова

магистрант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан,
х.ғ.к., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: turdybaeva94@mail.ru

КӘДІМГІ ТҮЙМЕШЕТЕН (TANACETUM VULGARE L.) ГҮЛДЕРІНІҢ ФАРМАКОГНОСТИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУІ

Түйін

Қазіргі уақытта көптеген созылмалы ауруларды емдеуде дәрілік өсімдік шикізатынан дайындалған препараттар кеңінен қолданылады. Шөптік препараттар жоғары тиімділікті, салыстырмалы қауіпсіздікті және кең терапевтік спектрді біріктіреді. Бұл үрдіс заманауи фармацевтикалық ғылымның дамуымен тікелей байланысты. Шикізатты стандарттау өсімдік тектес препараттардың тиімділігі мен қауіпсіздігін жоғары деңгейге көтерді. Алайда көптеген дәрілік өсімдіктер химиялық құрамы, фармакологиялық қасиеттері және стандартталуы тұрғысынан жеткіліксіз зерттелген. Бұл талап толықтай кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.) гүлдеріне және олардан дайындалған препараттарға қатысты, қазіргі уақытта бауыр мен өт қабы ауруларын кешенді емдеуде холекинетикалық құрал ретінде кеңінен қолданылады. Шикізаттың өт айдағыш әсері флавоноидтарға, гельминттерге қарсы белсенділігі шикізаттағы туйонға бай эфир майына тікелей байланысты. Зерттеудің мақсаты – түймешетен гүлдеріне фармакогностикалық зерттеу жүргізу.

Кілттік сөздер: созылмалы аурулар, фармакологиялық қасиеті, кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.), шикізат, флавоноидтар, туйон, эфир майы.

Кіріспе

Түймешетен туысының *Tanacetum* L. Қазақстанда 15 түрі, Түркістан облысында 4 түрі кездеседі [1]. Өсімдік ылғалды жерлерде, шалғындар мен бұталар арасында, жолдардың жиегінде, егістік жерлерде, шабындықтарда, өзен жағаларында, тұрғын үйлердің маңында, далалы аймақтарда өседі (1-сурет) [2]. Зерттеу нысаны ретінде Түркістан облысы Төлеби ауданы Қасқасу ауылы тау алды жазықтарынан мамыр айында гүлдеу кезеңінде жиналған кәдімгі түймешетен гүлдері алынды. Дәрілік өсімдік шикізаты +25-35° С температурада табиғи кептіру жағдайында келтірілді.



1-сурет-Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.) [2].

Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.) – дәстүрлі медицинада, гомеопатияда кеңінен қолданылатын, биологиялық белсенді қосылыстардың кең спектріне байланысты гельминттерге қарсы, өт айдайтын және спазмолитик ретінде медициналық тәжірибеде кеңінен қолданылатын дәрілік өсімдік. [3] Түймешетен гүлінің дәрілік шикізатын стандарттау флавоноидтарға негізделген, себебі биологиялық белсенді заттар тобы шикізатта анықталған.

Өртүрлі дистилляция әдістерімен алынған түймешетен эфир майларының инсектицидтік әсері байқалған. Түймешетеннен көп мөлшерде пектин бөлініп алынған, ол зертханалық тышқандардың тамақтану мінез-құлқына әсер етеді [4,5,6].

Зерттеу жұмыстары барысында *Tanacetum vulgare* L дәрілік өсімдік шикізатының өзі екендігі, макрокопиясы және микрокопиясы анықталды. Зерттеу КСРО Мемлекеттік фармакопееясының XI басылымында берілген әдістемелер бойынша жүргізілді. Анатооморфологиялық зерттеу негізінде түймешетен шикізатының нормативтік құжат талаптарына сәйкес келетіні анықталды.

Материалдар мен әдістер

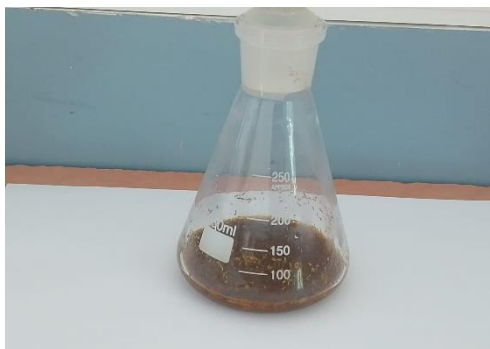
Тәжірибелік бөлім

Кәдімгі түймешетен – көпжылдық шөпті өсімдік, биіктігі 30 - 150 см.

Тамыры көлденең, ұзын, ағаштан жасалған, сырғымалы, бұтақталған, көп бүйірлі. Сабақтары жалғыз немесе біршама көп, тік тұратын, ойпатты, бұтақты, сәл түкті немесе жалаңаш, көп жапырақты, әдетте тек жоғарғы жағында тармақталған. Жапырақтары сирек түкті (дерлік жалаңаш), қысқа қарапайым, кейде екі бөлікті қылға ауысады, көптеген нүктелі бездері бар. Тамыр жапырақтары тез өлетін, ұзындығы 20 см-ге дейін және ені 8-10 см-ге дейін, едәуір ұзын, түбінде кеңейтілген сабақты. Олардың пішіні ұзын немесе ұзын-жұмыртқа тәрізді пластиналар, жіңішке қанатты білікке дейін - қанатты-бөлінген немесе қанатты-кесілген, қанатты-қалақты, сирек қанатты-бөлінген сегменттері бар; соңғы тіліктері немесе қалақтары жұмыртқа тәрізді сызықты-ланцетті, әдетте ені 5 мм, шеті тісті немесе тұтас, ұшында қысқа өткірлі; жоғарғы жағында қара-жасыл, төменгі жағында нүктелері бар. Жартылай шар тәрізді гүл себеттері, жоғарыдан дерлік жалпақ, диаметрі 5-8 мм және биіктігі 4-6 мм, саны 10-70, өте қалың, күрделі, қалқанша гүлге жиналған; қаптаманың жапырақтары түкті, дерлік жалаңаш, шеті ашық немесе қоңыр бұдырлы, жіңішке жиекті (жиектің жоғарғы жағында кеңейтілген болуы мүмкін), сырты жұмыртқа тәрізді-ланцетті, іші ұзын ланцетті. Барлық гүлдері түтік тәрізді, сары немесе қызғылт сары түсті. Жемістері - ұзын тұқымдар, қысқа ұсақ тісті шеті бар немесе шеті жоқ. Орамы көп қатарлы, жабынқыш, жартылай шарлы, жапырақтары жасыл, шеті құрғақ пішінді. Гүлдері ұсақ, дұрыс, сары, түтік тәрізді, себетке жиналған. Жемісі - ұзындығы 1,5-3 мм ұзын бес қырлы тұқым, дөңгелек, сұр, шеті қысқа, ұсақ тісті. Шілде-тамызда, шілде-қыркүйекте гүлдейді. Жемістері тамызда – қыркүйекте, тамыз - қазанда піседі. Өсімдіктің өзіне тән (камфор) иісі бар.[7].

Макрокопиясы. Қалқанша тәрізді гүл шоғырлары, олардың бөліктері немесе жеке гүл себеттері бар. Гүл себеттері жартылай шар тәрізді, көлденең кесіндісінің ені 7-10 мм - 12 мм аралығында. Себетте 200-250-ге дейін сары ұсақ, түтікті гүлдер бар, олар жалаң, сәл шығыңқы гүл тұғырында орналасқан. Орама жапырақшалары 4-5 қатармен қабыршақты орналасқан, сұрлау-жасылдау түсті, ланцет тәрізді. Шеткі гүлдері аналықты, 3-тісті; ортаңғылары – 5 тісті, қос жынысты. Аталығы 5, олардың жібі жоғарыға өскен. Иісі өткір, өзіне тән, дәмі ащы [4].

Зерттеуге микропрепараттар келесі әдіс бойынша дайындалды. Дәрілік өсімдіктің шикізат бөліктері конусты колбаға салынып, натрий гидроксиді ерітіндісімен 2-3 минут қайнатылды (1-сурет) Түссізденуден кейін шикізат сумен жуылып, заттық шыныға қойып глицерин ерітіндісінен бірнеше тамшы тамызады, препараттайтын инемен жазып, жабындық шынымен жабады және ауаны жою үшін қыздырады. Микрокоппен препаратты бет жағынан зерттейді. Гүлінің кесінділерін зерттеуге және микросуреттемені жасауға сандық камералы «Optika B-800 Series» қолданылды (үлкейтілген 7x1,5x4,5; 7x1,5x8; 7x1,5x40). Гүлдерге микрокопиялық зерттеу жүргізгенде күлте мен тостағаншаның ішкі және сыртқы жақтарының эпидермисі, гүл табаны мен гүл жапырақшаларының жасушалары, өртүрлі түктердің, кальций оксалаты кристалдарының, эфир-майлы бездердің және т.с.с. диагностикалық мәні бар. Маңызды диагностикалық белгі тозаң болып табылады. [1].



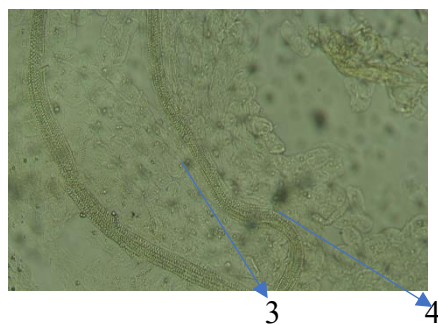
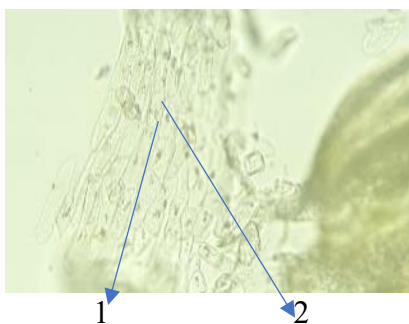
1-сурет - Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.) гүлінен дайындалған микропрепарат



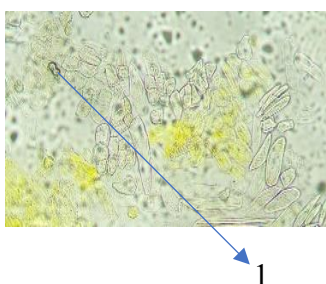
2-сурет - сандық камералы «Optika B-800 Series» микроскопта кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.) гүлінің кесінділерін зерттеу

Нәтижелер және талқылау

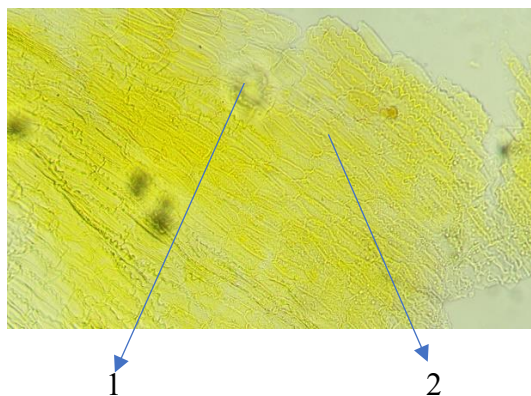
Гүліне микроскопиялық талдау нәтижесі. Тостағанша жапырақтарының кірпіш тәрізді созылыңқы, қабырғасы түзу эпидерма жасушалары бар. Күлтенің төртбұрышты эпидерма жасушалары, дөңгелек пішінді кальций оксалаты орналасқан (2-сурет). Күлтенің шетінде ұзын созылыңқы қабырғасы иректелген эпидерма жасушалары орналасқан. Күлтенің өткізгіш шоқтарының айналасында төрт немесе көпбұрышты эпидерма жасушалары бар, эпидерма жасушаларында кірпіш тәрізді қаланған кальций оксалатын көрдік (3- сурет). Күлтенің беткі қабатында орналасқан көлденең бөлінген домалақ овальды эфир майлы бездер, күлтенің жиектерінде орналасқан созылыңқы, ұзын, қабырғалары иректелген эпидерма жасушалары бар.(4- сурет).



2-сурет-1, 2 - Тостағанша жапырақтарының кірпіш тәрізді созылықы, , қабырғасы түзу эпидерма жасушалары; 3 - Күлтенің төртбұрышты эпидерма жасушалары, 4 - дөңгелек пішінді кальций оксалаты.



3-сурет- 1- Күлтенің эпидерма жасушаларында орналасқан тіктөртбұрышты пішінді кальций оксалаты; 2 - Күлтенің бес эпидерма жасушаларымен қоршалған аномацитті устьица.



4-сурет - 1- Күлтенің беткі қабатында орналасқан көлденең бөлінген домалақ овальды эфир майлы бездер; 2 - Күлтенің жиектерінде орналасқан созылықы, ұзын, қабырғалары иректелген эпидерма жасушалары.

Қорытынды

Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.) гүлдеріне микроскопиялық талдау жүргізілді. Шикізаттың түпнұсқалығын анықтау үшін анатомиялық және диагностикалық белгілері анықталды. Өсімдіктің барлық бөліктерінде біржасушалы түктер мен жалпақ талшықтар кездеседі. Гүлінде күлтенің көпбұрышты және төртбұрышты эпидерма жасушалары бар. Күлтенің 5 эпидерма жасушаларымен қоршалған аномацитті устьица, кальций оксалаты тек төртбұрышты кристалл түрінде кездеседі. Ұнтақталған шикізаттың анатомиялық белгісінде эфир майы қуыстары көрінеді. Эфир майлы бездерінің формасы овальды, дөңгелек, екіге бөлінген. Микроскопиялық зерттеулердің нәтижелері *Tanacetum vulgare* L гүлдерінің негізгі

диагностикалық белгілерін ашады. Ұсынылған фармакогностикалық сипаттамалар негізінде кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.) шикізатынан фитопрепараттар алу технологиясын қарастыру ұсынылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Дәрілік өсімдік шикізаттарын фармакогностикалық талдау: оқулық / К.К. Орынбасарова. – Алматы: ЭСПИ, 2021. – 308 б.
2. Қазақстанның дәрілік өсімдіктері. Искендіров Әбіш. Алматы "Қазақстан" 1982, 188 бет.
3. Хусаинова А.И. Фармакогностическое исследование сырья и препаратов пижмы обыкновенной // Сборник трудов второй научно-практической конференции «Молодые ученые и фармация XXI века». — Москва, 2014. — С. 118-122. [Husainova A.I. Sbornik trudov vtoroj nauchno-prakticheskoy konferencii «Molodye uchenye i farmaciya XXI veka». Pharmacognostic study of raw materials and preparations of herb of *Tanacetum vulgare* // Proceedings of the second scientific-practical conference "Young scientists and pharmacy of the XXI century". — Moscow, 2014. — S. 118-122. (in Russian)]
4. Ak G., Gevrenova R., Sinan K.I., Zengin G. et al. *Tanacetum vulgare* L. (Tansy) as an effective bioresource with promising pharmacological effects from natural arsenal // Food and Chemical Toxicology. – 2021. – V.153, 112268. doi: 10.1016/j.fct.2021.112268
5. Bączek K.B., Kosakowska O., Przybyl J.L. et al. Antibacterial and antioxidant activity of essential oils and extracts from costmary (*Tanacetum balsamita* L.) and tansy (*Tanacetum vulgare* L.) // Industrial Crops and Products. – 2017. – V.102. – P. 154–163. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.03.009
6. Barauskienė R., Kazernavičiūtė R., Pukalskienė M. et al. Agrorefinery of *Tanacetum vulgare* L. into valuable products and evaluation of their antioxidant properties and phytochemical composition // Industrial Crops and Products. – 2014. – V.60. – P. 113–122. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.05.047
7. Фармакогнозия: оқулық/ Махатов Б.Қ., Патсаев А.Қ., Орынбасарова Қ.Қ., Қадішаева Ж.А.,-Шымкент.-2011. -492б

References

1. Dәrilik өsimdik shikizattaryn farmakognostikalық taldaу: оқулық / К.К. Orynbasarova. – Almaty: ESPI, 2021. – 308 b.
2. Қазақстанның дәрілік өсімдіктері. Iskendirov Әbish. Almaty "Қазақстан" 1982, 188 bet.
3. Husainova A.I. Farmakognosticheskoe issledovanie syr'ya i preparatov pizhmy obyknovennoj // Sbornik trudov vtoroj nauchno-prakticheskoy konferencii «Molodye uchenye i farmaciya XXI veka». — Moskva, 2014. — S. 118-122. [Husainova A.I. Sbornik trudov vtoroj nauchno-prakticheskoy konferencii «Molodye uchenye i farmaciya XXI veka». Pharmacognostic study of raw materials and preparations of herb of *Tanacetum vulgare* // Proceedings of the second scientific-practical conference "Young scientists and pharmacy of the XXI century". — Moscow, 2014. — S. 118-122. (in Russian)]
4. Ak G., Gevrenova R., Sinan K.I., Zengin G. et al. *Tanacetum vulgare* L. (Tansy) as an effective bioresource with promising pharmacological effects from natural arsenal // Food and Chemical Toxicology. – 2021. – V.153, 112268. doi: 10.1016/j.fct.2021.112268
5. Bączek K.B., Kosakowska O., Przybyl J.L. et al. Antibacterial and antioxidant activity of essential oils and extracts from costmary (*Tanacetum balsamita* L.) and tansy (*Tanacetum vulgare* L.) // Industrial Crops and Products. – 2017. – V.102. – P. 154–163. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.03.009
6. Barauskienė R., Kazernavičiūtė R., Pukalskienė M. et al. Agrorefinery of *Tanacetum vulgare* L. into valuable products and evaluation of their antioxidant properties and phytochemical composition // Industrial Crops and Products. – 2014. – V.60. – P. 113–122. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.05.047

7. Farmakognoziya: oqulyq/ Mahatov B.Қ., Patsaev A.Қ., Orynbasarova Қ.Қ., Қадishaeva ЗН.А.,-Шымкент.-2011. -492b

А.Н. Турдыбаева*, Н.К. Сарыпбекова, Г.Н. Тобагабылова

*Магистрант, turdybaeva94@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Кандидат химических наук, профессор, Nurislam_kar@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Магистр технических наук, старший преподаватель, g_tobagabylova@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

ФАРМАКОГНОСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТКОВ ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (TANACETUM VULGARE L)

Аннотация

В настоящее время при лечении многих хронических заболеваний широко используются препараты, изготовленные из лекарственного растительного сырья. Травяные препараты сочетают в себе высокую эффективность, относительную безопасность и широкий терапевтический спектр. Данный процесс напрямую связан с развитием современной фармацевтической науки. Стандартизация сырья повысила эффективность и безопасность препаратов растительного происхождения на более высокий уровень. Однако многие лекарственные растения недостаточно изучены с точки зрения их химического состава, фармакологических свойств и стандартизации. Это требование полностью относится к цветам обыкновенных пижмы (*Tanacetum vulgare* L.) и препаратам из них, которые в настоящее время широко используются в качестве холекинетического средства при комплексном лечении заболеваний печени и желчного пузыря. Желчегонное действие сырья против флавоноидов, гельминтов напрямую связано с эфирным маслом, богатым туйоном в сырье. Цель исследования - проведение фармакогностического исследования пижмы.

Ключевые слова: хронические заболевания, фармакологические свойства, пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.), сырье, флавоноиды, туйон, эфирное масло.

A.N. Turdybaeva*, N.K. Sarypbekova, G.N. Tobagabylova

Master's student, turdybaeva94@mail.ru, M. Auezov Higher Education Institution, Shymkent, Kazakhstan
PhD in Chemistry, Professor, Nurislam_kar@mail.ru, M. Auezov Higher Education Institution, Shymkent, Kazakhstan

Master of Engineering, Senior Lecturer, g_tobagabylova@mail.ru, M. Auezov Higher Education Institution, Shymkent, Kazakhstan

PHARMACOGNOSTIC STUDY OF COMMON TANSY FLOWERS (TANACETUM VULGARE L)

Abstract

In the treatment of many modern chronic diseases, drugs made from medicinal plant materials are widely used. Currently, herbal preparations generally combine high efficacy, relative safety and a wide therapeutic spectrum. This process is directly related to the development of modern pharmaceutical science. Strict standardization of raw materials has raised the effectiveness and safety of herbal preparations to a higher level. However, many medicinal plants are not well understood in terms of their chemical composition, pharmacological properties and standardization. This requirement applies entirely to the flowers of common tansy (*Tanacetum vulgare* L.) and preparations thereof, which are now widely used as a cholekinetic agent in the complex treatment of liver and gallbladder diseases. The choleric effect of raw materials is directly related to activity against specific flavonoids, helminths, with essential oil rich in thujone in raw materials. The purpose of the study is to conduct a pharmacognostic study of tansy flowers.

Keywords: chronic diseases, pharmacological properties, common tansy (*Tanacetum vulgare* L.), raw

materials, flavonoids, thujone, essential oil.

А.Н. Турдыбаева*, Н.К. Сарыпбекова, Г.Н. Тобағабылова

магистрант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

х.ғ.к., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

техникалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: turdybaeva94@mail.ru

КӘДІМГІ ТҮЙМЕШЕТЕН (TANACETUM VULGARE) ГҮЛІНЕН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРДЫ АНЫҚТАУ

Түйін

Бұл мақалада дәрілік өсімдік болып табылатын кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) гүлдеріндегі биологиялық белсенді заттарды анықтау қарастырылды. Зерттеу барысында өсімдік шикізатынан құрғақ сығынды алынып, ИҚ спектрі ShimadzuIRPrestige-21 FTIR спектрометрін пайдаланып анықталды. Кәдімгі түймешетеннің (*Tanacetum vulgare*) құрамындағы негізгі белсенді заттар — терпеноидтар (туйон, камфора) және флавоноидтар (лютеолин, кверцетин және олардың гликозидтері) бар. Бұл деректер түймешетен гүлін фармацевтикалық және медициналық мақсатта қолдану мүмкіндігін дәлелдейді. Дәрілік өсімдік шикізатында флавоноидтар полисахаридтермен, эфир майларымен, сапониндермен, кездеседі. Флавоноидты гликозидтер құрамындағы органикалық қышқылдар, терпендер, антиоксиданттық қасиетін беретін фенолды қосылыстарға бай. Кәдімгі түймешетен құрамындағы эфир майы құрысуды, құсуды және жатырдан қан кетуді тудырады. Гүлдері гельминттерге қарсы, ыстықты түсіреді, жапырақтары 1,8-цинол хемотипінің майларын шығарады, ал гүлшоғырлары камфора немесе миртенол майларын биосинтездейді. Зерттеудің мақсаты кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) гүлдеріндегі биологиялық белсенді заттарды анықтау.

Кілттік сөздер: кәдімгі түймешетен, биологиялық белсенді заттар, құрғақ сығынды, ИҚ спектр, терпеноидтар, флавоноидтар, туйон.

Кіріспе

Қазіргі уақытта синтетикалық дәрі-дәрмектердің өнеркәсіптік өндірісінің жоғары деңгейіне қарамастан, табиғи тектес дәрі-дәрмектерге сұраныс жоғары деңгейде.

Өсімдік тектес препараттар, әдетте, ағзаға кең спектрлі әсер етеді, төзімділікке ие және терапевтік дозаларда уыттылығы аз [1].

Тиімділігі жоғары дәрілік заттарды жасау көзі болып табылатын дәрілік өсімдіктердің бірі - кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare* L.). Бұл Астрагүлділер (*Asteraceae*) тұқымдасына жататын көпжылдық шөпті өсімдік. Дәрілік өсімдік шикізаты ретінде түймешетеннің гүлдерін дайындайды. Толық гүлдену сатысында жиналған *T. vulgare* өсімдіктерінің ауа бөліктерінде әдетте 0,1-ден 0,5% -ға дейін эфир майы болады [2, 3, 4]. Өсімдіктің гүл себеттерінде флавоноидты қосылыстар (лютеолин, апигенин, акацетин, кверцетин, цинарозид), бициклді монотерпеноидтар кіреді: β-туйон, α-туйон, камфора, борнеол, пинен, фенол қышқылдары, иілік заттар бар. [5,6] Барлық жапырақты майлардағы 1,8-цинеол мөлшері гүлдердің майларына қарағанда көп болады [7].

Түймешетен препараттары паразитке қарсы, өт айдайтын, спазмолитикалық әсері бар. Олар тәбетті, асқазан шырынының қышқылдығын арттырады, тамақтың сіңірілуін жақсартады, бактерицидті әсер етеді. Өт айдау құралдары ретінде түймешетен препараттары холециститтерде, холангиттерде, энтероколиттерде қолданылады [8].

Материалдар мен әдістер

Тәжірибелік бөлім

Зерттеу нысаны ретінде Түркістан облысы Төлеби ауданы Қасқасу ауылы тау алды

жазықтарынан мамыр айында гүлдеу кезеңінде жиналған кәдімгі түймешетен гүлдері алынды. Дәрілік өсімдік шикізаты +25-35° С температурада табиғи кептіру жағдайында жинақталды. Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) гүлінен құрғақ экстракт алу келесі сатылардан тұрады:

- 1) шикізат пен экстрагентті дайындау
 - 2) сығынды алу
 - 3) сығындыны тазарту
 - 4) қойылту (буландыру)
 - 5) стандарттау.
1. Өсімдік шикізаты мен экстрагентті дайындау.

Өсімдік шикізатын дайындау оны ұнтақтау мен елеуден тұрады (1-сурет). Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) гүлінің шикізатын 5-8 мм ұнтақтаймыз. Экстрагент ретінде 40 % этил спирті 1:5 қатынаста алынды. Кептіру вакуум-кептіргіш шкафтарда өткізіледі де, алынған масса әрі қарай шарлы диірмендерде ұнтақталады.



1-сурет – Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) гүлінің ұнтақталған шикізаты

Сонымен экстрагенттің тиісті мөлшері мына формуламен есептеледі:

$$X = V + PK$$

Мұндағы: X - экстрагенттің мөлшері, мл;

V - тұндырманың мөлшері, мл;

P - шикізаттың салмағы, г;

K - спирт сіңіру коэффициенті.

2. Сығындыны алу бөлшекті мацерация тәсілімен жүргізілді.

Шикізатты сығындау үшін сулы-спиртті ремацерация тәсілі қолданылды..

3. Сығындыны тазарту 2 кезеңде жүргізілді:

1. Мұқият араластырып, 5-6 күнге +8°С температурадан төмен емес жағдайда тұндырып қояды.

2. Филтрленеді.

3. Қойылту сығындыны 50-60°С температурада, 600-700 мм.сын. бағанасына дейін сұйылтылған жағдайда вакуум астында қажетті қоюлыққа дейін жүргізілді.

5. Кептіру вакуум-кептіргіштерде шкафтарда 50-60 0С температурада жүргізілді. Кептірілген сығындыны әрі қарай ұнтақталды.

6. Стандарттау.

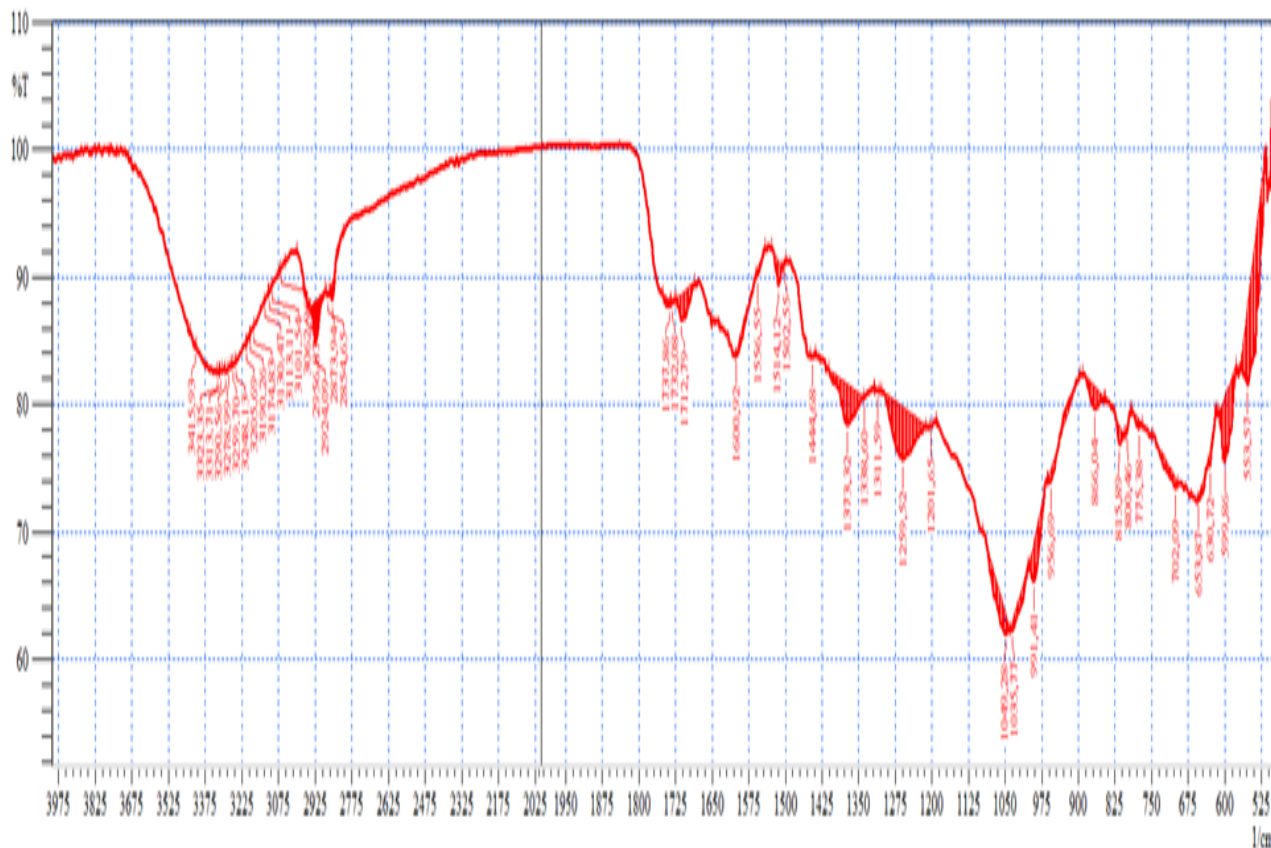
- 1.Органолептикалық көрсеткіштері,сандық құрамы бойынша ауыр металдарды, құрғақ қалдықты,сондай-ақ кептіру кезіндегі массаның жоғалуы анықталады.Құрғақ -5% -дан аспайды [9]

Өсімдік шикізатынан құрғақ экстракт алынып, ИҚ спектрі ShimadzuIRPrestige-21 FTIR спектрометрін пайдаланып анықталды. Әдіс жұтатын заттың молекуласына кіретін ядролардың тербеліс қозғалысымен анықталатын жұту жолағын анықтауға негізделген. Инфракызыл спектрофотометрлерді 4000 см⁻¹ -ден 650 см⁻¹ дейінгі аймақта спектрлерді жазу

үшін қолданамыз (2-сурет).

Спектр түсіру үшін сынаманы дайындау тәсілі:

1-2 мг субстанцияны әбден майдаланған және кептірілген 300-400 мг калий бромидімен ұнтақтайды және шамамен 800 МПа вакуумда престейді. Жұту көрсеткіштерін анықтаймыз [10].



2-сурет – Сығынды құрамындағы биологиялық белсенді заттардың инфрақызыл спектрі

Нәтижелер мен талқылау

653 cm^{-1} – бес мүшелі ароматты сутек атомы

991 cm^{-1} - соңғы деформациялық ауытқу метилен тобы

1035 cm^{-1} -Біріншілік спирт тобының -C-O байланысының валенттік тербелісі

1049, 1259 cm^{-1} - тығыз орналасуы құрамында органикалық қышқылдар, терпендер бар екенін айқындайтын табиғи экстракт

1373 cm^{-1} -метил тобының деформациялық тербелісі

1502, 1556, 1600 cm^{-1} - флавоноидты кешен. Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) гүліндегі флавоноидтардың ароматты (бензол) сақиналары және оның айналасындағы жоғары қарқындылық түймешетеннің антиоксиданттық қасиетін беретін фенолды қосылыстарға бай екенін көрсетеді.

1712 - 1737 cm^{-1} - аралығындағы жиілік туйон мен камфораның құрамындағы (карбонил) тобының созылу тербелістері кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) үшін ең маңызды диагностикалық белгі

2854 cm^{-1} - қаныққан метилен тобының валенттік тербелісі

2924 cm^{-1} - метил тобының валенттік тербелісі

3062 cm^{-1} - ароматты сақинаның C-H тобының валенттік тербелісі

3101 cm^{-1} - қанықпаған C-H тобының валенттік тербелісі

3323 см⁻¹ - гидроксил тобының байланысқан валенттік тербелісі. флавоноидтар мен полифенолдардағы (гидроксил) топтың бар екенін айқындайды [11,12] (3-сурет)

Номерлар	Пик	Қарқындылығы	Корр. Қарқындылық	Негіз (H)	негіз (L)	Облыс	корр. Облыс
1	553,57	81,631	6,089	567,07	518,85	3,111	1,185
2	599,86	75,495	5,156	611,43	576,72	3,701	0,587
3	630,72	75,144	1,207	634,58	619,15	1,749	0,049
4	653,87	72,530	0,320	655,80	634,58	2,814	0,051
5	702,09	73,528	0,777	748,38	696,30	6,436	0,133
6	775,38	78,152	0,608	790,81	769,60	2,214	0,039
7	800,46	77,684	0,381	802,39	792,74	0,998	0,003
8	815,89	76,871	1,487	844,82	806,25	3,992	0,072
9	866,04	79,657	1,713	891,11	846,75	4,150	0,197
10	956,69	73,983	0,870	962,48	896,90	6,915	0,064
11	991,41	66,158	2,962	1001,06	964,41	5,850	0,364
12	1035,77	62,256	0,619	1039,63	1002,98	7,056	0,175
13	1049,28	62,052	1,630	1095,57	1039,63	10,525	0,425
14	1201,65	78,342	0,099	1203,58	1192,01	1,213	0,002
15	1259,52	75,739	4,056	1303,88	1213,23	9,992	1,071
16	1311,59	81,116	0,095	1317,38	1307,74	0,874	0,002
17	1338,60	80,569	0,092	1340,53	1319,31	1,947	0,004
18	1373,32	78,458	3,135	1411,89	1340,53	6,848	0,562
19	1444,68	83,762	0,221	1448,54	1438,90	0,738	0,007
20	1502,55	90,778	0,173	1504,48	1498,69	0,232	0,000
21	1514,12	89,383	1,801	1527,62	1508,33	0,823	0,073
22	1556,55	90,127	0,608	1560,41	1541,12	0,773	0,025
23	1600,92	83,860	0,303	1602,85	1560,41	2,620	0,092
24	1712,79	86,729	1,915	1724,36	1685,79	2,185	0,227
25	1732,08	87,876	0,220	1734,01	1726,29	0,425	0,003
26	1737,86	87,797	0,331	1751,36	1735,93	0,856	0,027
27	2854,65	88,299	1,374	2864,29	2810,28	2,184	0,090
28	2873,94	88,638	0,259	2879,72	2866,22	0,700	0,009
29	2924,09	84,546	3,538	2945,30	2883,58	3,828	0,496
30	2956,87	87,479	0,998	3001,24	2947,23	2,554	0,073
31	3062,96	90,712	0,160	3066,82	3049,46	0,715	0,008
32	3101,54	89,361	0,095	3103,46	3074,53	1,348	0,008
33	3113,11	88,770	0,145	3115,04	3103,46	0,584	0,007
34	3130,47	88,047	0,115	3132,40	3116,97	0,825	0,008
35	3174,83	86,108	0,140	3176,76	3132,40	2,662	0,015
36	3190,26	85,419	0,093	3192,19	3176,76	1,026	0,003
37	3205,69	84,710	0,178	3207,62	3194,12	0,946	0,005
38	3248,13	83,350	0,163	3251,98	3209,55	3,208	0,020
39	3259,70	83,090	0,272	3263,56	3251,98	0,921	0,007
40	3278,99	82,846	0,071	3280,92	3271,27	0,784	0,003
41	3290,56	82,533	0,357	3294,42	3282,84	0,956	0,013
42	3313,71	82,561	0,159	3315,63	3305,99	0,796	0,004
43	3323,35	82,531	0,128	3327,21	3317,56	0,801	0,005
44	3415,93	84,578	0,232	3437,15	3412,08	1,772	0,025

3-сурет- ShimadzuIRPrestige-21 FTIR спектрометріндегі тербеліс жиіліктері

Қорытынды

Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) үшін бұл ИК-спектр мәндері өте маңызды Инфрақызыл спектрофотометрлерді 4000 см⁻¹ –ден 650 см⁻¹ дейінгі аймақта спектрлерді жазу үшін қолданамыз. Құрамындағы негізгі белсенді заттар- бес мүшелі ароматты сутек атомы, Біріншілік спирт тобының -С-О байланысының валенттік тербелісі, органикалық қышқылдар, терпендер бар екенін айқындайтын табиғи экстракт, метил тобының деформациялық тербелісі, флавоноидты кешен. Кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) гүліндегі флавоноидтардың ароматты (бензол) сақиналары және оның айналасындағы жоғары қарқындылық түймешетеннің антиоксиданттық қасиетін беретін фенолды қосылыстарға бай екенін көрсетеді. Туйон мен камфораның құрамындағы (карбонил) тобының созылу тербелістері кәдімгі түймешетен (*Tanacetum vulgare*) үшін ең маңызды диагностикалық белгі. қаныққан метилен тобының валенттік тербелісі, метил тобының валенттік тербелісі, ароматты сақинаның С-Н тобының валенттік тербелісі, қанықпаған С-Н тобының валенттік тербелісі, гидроксил тобының байланысқан валенттік тербелісі. флавоноидтар мен полифенолдардағы (гидроксил) топтың бар екенін айқындайды. Алынған ИК-спектр мәліметтері кәдімгі түймешетеннің (*Tanacetum vulgare*) эталондық көрсеткіштерге толық сәйкес келеді. Бұл

үлгінің сапалы екенін және құрамында биологиялық белсенді заттардың (органикалық қышқылдар, терпендер, флавоноидтар, туйон мен камфораның, полифенолдар) жеткілікті мөлшерде бар екенін растайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Хусаинова А.И. Фармакогностическое исследование сырья и препаратов пижмы обыкновенной // Сборник трудов второй научно-практической конференции «Молодые ученые и фармация XXI века». — Москва, 2014. — С. 118-122.
2. Cruz, O.A., Guerrero, J., Podea, R., Batiu, I. Composition of the essential oil from the leaves of palma real (*Tanacetum vulgare* L) from Perú. Chem Bull "POLITEHNICA" Univ (Timișoara) 2008, 53(67), 10-12.
3. Alizadeh, M.A., Jafari, A.A., Sayedian, S.E. Evaluation of aerial biomass yield and essential oil content of seven species of *Tanacetum*. Journal of Horticultural Research 2017, 25(1), 19-25.
4. Raal, A., Orav, A., Gretchushnikova, T. Essential oil content and composition in *Tanacetum vulgare* L. herbs growing wild in Estonia. J Essent Oil Bear Plants 2014, 17(4), 670-675.
5. Кулагин, О. Л. Антиоксидантная активность некоторых фитопрепаратов, содержащих флавоноиды и фенилпропаноиды / О. Л. Кулагин, В. А. Куркин, Н. С. Додонов [и др.]. — Текст: непосредственный // Фармация. — 2007. — Т. 55, № 2. — С. 30–32. — ISSN 0367-3014.
6. Куркина, А. В. Актуальные аспекты стандартизации сырья и препаратов пижмы обыкновенной / А. В. Куркина, А. И. Хусаинова. — Текст : непосредственный // Медицинский альманах. — 2010. — № 2 (11). — С. 322–326. — ISSN 1997-7689.
7. Judzientiene, A., Mockute, D. The inflorescence and leaf oils of *Tanacetum vulgare* L. var. *vulgare* growing wild in Lithuania. Biochem Syst Ecol 2005, 33, 487-498.
8. Куркина, А. В. Методика определения суммы флавоноидов в цветках пижмы / А. В. Куркина, А. И. Хусаинова. — Текст : непосредственный // Фармация. — 2010. — Т. 58, № 3. — С. 21–24. — ISSN 0367-3014.
9. Чуешов В.И. Технология лекарств промышленного производства: учеб. для шпильки. высш. учеб. завед.: перевод с укр.; в 2 гл. Гл.1; перевод с укр. яз./ [В.И.Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко и др.].- Винница: Новая книга, 2014.- 696 с.
10. Арыстанова Т.А. Фармацевтическая химия, том I / Т.А. Арыстанова. Алматы, ТОО «Медет Групп», 2022. — 554 с.
11. Қазақстан Республикасының Мемлекеттік фармакопеясы. Т. 1. — Алматы: «Жібек жолы» баспа үйі, 2008. — 592 б.
12. Кросс А.Д. «Введение в практическую инфракрасную спектроскопию» Перс англ. — М.: Иностранная литература, 1961 — 110 с.

References

1. Husainova A.I. Farmakognosticheskoe issledovanie syr'ya i preparatov pizhmy obyknovennoj // Sbornik trudov vtoroj nauchno-prakticheskoy konferencii «Molodye uchenye i farmaciya XXI veka». — Moskva, 2014. — S. 118-122.
2. Cruz, O.A., Guerrero, J., Podea, R., Batiu, I. Composition of the essential oil from the leaves of palma real (*Tanacetum vulgare* L) from Perú. Chem Bull "POLITEHNICA" Univ (Timișoara) 2008, 53(67), 10-12.
3. Alizadeh, M.A., Jafari, A.A., Sayedian, S.E. Evaluation of aerial biomass yield and essential oil content of seven species of *Tanacetum*. Journal of Horticultural Research 2017, 25(1), 19-25.
4. Raal, A., Orav, A., Gretchushnikova, T. Essential oil content and composition in *Tanacetum vulgare* L. herbs growing wild in Estonia. J Essent Oil Bear Plants 2014, 17(4), 670-675.

5. Kulagin, O. L. Antioksidantnaya aktivnost' nekotoryh fitopreparatov, sodержashchih flavonoidy i fenilpropanoidy / O. L. Kulagin, V. A. Kurkin, N. S. Dodonov [i dr.]. – Tekst : neposredstvennyj // Farmaciya. – 2007. – T. 55, № 2. – S. 30–32. – ISSN 0367-3014.
6. Kurkina, A. V. Aktual'nye aspekty standartizatsii syr'ya i preparatov pizhmy obyknovennoj / A. V. Kurkina, A. I. Husainova. – Tekst : neposredstvennyj // Medicinskij al'manah. – 2010. – № 2 (11). – S. 322–326. – ISSN 1997-7689.
7. Judzentiene, A., Mockute, D. The inflorescence and leaf oils of *Tanacetum vulgare* L. var. *vulgare* growing wild in Lithuania. *Biochem Syst Ecol* 2005, 33, 487-498.
2. Kurkina, A. V. Metodika opredeleniya summy flavonoidov v cvetkah pizhmy / A. V. Kurkina, A. I. Husainova. – Tekst : neposredstvennyj // Farmaciya. – 2010. – T. 58, № 3. – S. 21–24. – ISSN 0367-3014.
3. CHueshov V.I. Tekhnologiya lekarstv promyshlennogo proizvodstva: ucheb. dlya shpil'ki. vyssh. ucheb. zaved.: perevod s ukr.; v 2 gl. Gl.1; perevod s ukr. yaz./ [V.I.CHueshov, E.V. Gladuh, I.V. Sajko i dr.].- Vinnica: Novaya kniga, 2014.- 696 s.
4. Arystanova T.A. Farmaceuticheskaya himiya, tom I / T.A. Arystanova. Almaty, TOO «Medet Grupp», 2022. – 554 s.
5. Qazaqstan Respublikasynyñ Memlekettik farmakopeiasy. T. 1. – Almaty: «Jibek joly» baspa üii, 2008. – 592 b.
6. Kross A.D. «Vvedenie v prakticheskuyu infrakrasnuyu spektroskopiyu» Pers angl. – M.: Inostrannaya literatura, 1961 – 110 s.

А.Н. Турдыбаева*, Н.К. Сарыпбекова, Г.Н. Тобагабылова

*Магистрант, turdybaeva94@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Кандидат химических наук, профессор, Nurislam_kar@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Магистр технических наук, старший преподаватель, g_tobagabylova@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЦВЕТКА ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (TANACETUM VULGARE)

Аннотация

В этой статье рассматривалось определение биологически активных веществ в цветах пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*), являющейся лекарственным растением. В ходе исследования из растительного сырья был получен сухой экстракт и обнаружен ИК-спектр с использованием спектрометра ShimadzuIRPrestige-21 FTIR. В состав пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*) входят основные активные вещества - терпеноиды (туйон, камфора) и флавоноиды (лютеолин, кверцетин и их гликозиды). Эти данные свидетельствуют о возможности использования цветка-пижмы в фармацевтических и медицинских целях. В лекарственном растительном сырье флавоноиды встречаются с полисахаридами, эфирными маслами, сапонинами. Органические кислоты, терпены, содержащиеся в флавоноидных гликозидах, богаты фенольными соединениями, дающими антиоксидантные свойства. Эфирное масло, содержащееся в пижмы обыкновенной, вызывает сыпь, рвоту и кровотечение из матки. Цветки антигельминтные, жаропонижающие, листья выделяют жиры 1,8-цинольного хемотипа, а соцветия биосинтезируют жиры камфоры или миртенола. Целью исследования является выявление биологически активных веществ в цветах пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*).

Ключевые слова: пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*), биологически активные вещества, сухой экстракт, ИК спектр, терпеноиды, флавоноиды, туйон.

A.N. Turdybaeva*, N.K. Sarypbekova, G.N. Tobagabylova

*Master's student, turdybaeva94@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

PhD in Chemistry, Professor, Nurislam_kar@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Master of Engineering, Senior Lecturer, g_tobagabylova@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

DETERMINATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM OF COMMON TANSY FLOWERS (TANACETUM VULGARE)

Abstract

This article examined the definition of biologically active substances in the colors of common tansy (*Tanacetum vulgare*), which is a medicinal plant. During the study, a dry extract was obtained from plant raw materials and the IR spectrum was detected using a ShimadzuIRPrestige-21 FTIR spectrometer. The composition of common tansy (*Tanacetum vulgare*) includes the main active substances - terpenoids (tuyon, camphor) and flavonoids (luteolin, quercetin and their glycosides). These data suggest the possibility of using the tansy flower for pharmaceutical and medical purposes. In medicinal plant raw materials, flavonoids are found with polysaccharides, essential oils, saponins. Organic acids, terpenes contained in flavonoid glycosides, are rich in phenolic compounds that give antioxidant properties. The essential oil found in common tansy causes rashes, vomiting and bleeding from the uterus. The flowers are anthelmintic, antipyretic, the leaves secrete fats of the 1.8-cynol chemotype, and the inflorescences biosynthesize camphor or myrtenol fats. The purpose of the study is to identify biologically active substances in the colors of common tansy (*Tanacetum vulgare*).

Key words: common tansy (*Tanacetum vulgare*), biologically active substances, dry extract, IR spectrum, terpenoids, flavonoids, thujone.

А.А. Утебаев*, Л.Д. Айкозова, К.С. Назарасым, И.Х. Ирисметов

т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
оқытушы, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
студент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: u.aseke.63@mail.ru

СКАНЕРЛЕУШІ ЭЛЕКТРОНДЫ МИКРОСКОПИЯЛЫҚ ТАЛДАУ НӘТИЖЕЛЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚАЛАҚАЙ (URTICA URENS) ӨСІМДІГІНІҢ ЭЛЕМЕНТТІК ҚҰРАМЫН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

Түйін

Бұл мақалада күйдіргіш қалақай өсімдігінің элементтік құрамы бойынша эксперименттік зертханалық деректерге негізделген өсімдік үлгісінің кешенді элементтік талдауы ұсынылған. Талдау химиялық элементтердің массалық үлестерін анықтау үшін сканерлеуші электронды микроскопиялық талдауды қолдану арқылы жүргізілді. С, О, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Fe және Ti сияқты негізгі биогендік және минералды элементтердің құрамы мен мөлшері анықталды. Нәтижелері бойынша оттегінің (52%-ға дейін), кальцийдің (34,8%-ға дейін) және калийдің (15,38%-ға дейін) мөлшерлік деңгейі, бұл материалдың жоғары минералдануын көрсетеді. Бұл зерттеу жұмысында сегіз спектрдің салыстырмалы талдауы жүргізілді, элементтердің таралуының негізгі заңдылықтары және олардың өсімдік материалының құрылымындағы ықтимал биологиялық рөлі анықталды. Зерттеу нәтижелерін өсімдіктің биохимиялық құрамын бағалауға, оның фармакологиялық әлеуетін анықтауға және жаңа шөптік препараттарды әзірлеу үшін пайдалануға болады.

Кілттік сөздер: элементтік талдау, өсімдік материалдары, микроэлементтер, макроэлементтер, кальций, калий, магний, химиялық құрамы, биогендік элементтер.

Кіріспе

Жабайы күйдіргіш қалақай өсімдіктерінің химиялық құрамын зерттеу қазіргі дәрілік препараттарды дайындауда биохимия мен фармакогнозияның маңызды саласы болып табылады. Өсімдіктердің минералды және элементтік құрамы олардың биологиялық белсенділігіне, фармакологиялық қасиеттеріне және тағамдық құндылығына айтарлықтай әсер етеді.

Өсімдіктер топырақтан макро- және микроэлементтердің кең ауқымын жинақтай алады. Бұл элементтер зат алмасу процестеріне, ферментативті жүйелердің түзілуіне және биологиялық белсенді заттардың биосинтезіне қатысады [1]. Сондықтан өсімдіктердің элементтік құрамын зерттеу олардың фармакологиялық құндылығын бағалаудағы маңызды қадам болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Теориялық бөлім

Ғылыми-жұмыстың мақсаты – күйдіргіш қалақай өсімдігінің (*urtica urens*) элементтік құрамы бойынша зертханалық мәліметтерге негізделген өсімдік үлгісінің элементтік құрамын кешенді талдау және макро- және микроэлементтердің таралу ерекшеліктерін анықтау [2]. Сайрам ауданында өсетін қалақайдың (*Urtica urens*) биохимиялық құрамы мен дәрілік қасиеттерін эксперименттік түрде растау және нақтылау. Бұл түрдің химиялық құрамы мен фармакологиялық белсенділігі ғылыми әдебиеттерде теориялық тұрғыдан сипатталғанымен, биологиялық белсенді заттардың мөлшері климаттық жағдайларға, топырақ факторларына және аймақтың қоршаған орта сипаттамаларына байланысты өзгеруі мүмкін [3]. Сондықтан

зерттеу негізгі фитокомпоненттерді - флавоноидтарды, дәрумендерді, минералдарды және органикалық қышқылдарды - іс жүзінде анықтауға және сандық бағалауға, сондай-ақ олардың жергілікті өсімдіктер популяциясының антиоксиданттық, қабынуға қарсы және микробқа қарсы қасиеттерімен байланысын бағалауға бағытталған.

Зерттеудің өзектілігі қалақайдың (*Urtica urens*) биологиялық белсенді заттардың жоғары мөлшерімен және емдік әсерінің кең спектрімен танымал құнды дәрілік өсімдік екендігінде. Дегенмен, оның химиялық құрамы мен фармакологиялық қасиеттері туралы деректер негізінен теориялық дереккөздер мен басқа табиғи-климаттық аймақтарда жүргізілген зерттеулерге негізделген [4]. Өсімдіктердің биохимиялық профилі қоршаған орта жағдайларына, топырақ құрамына, күн радиациясына, ылғалдылыққа және антропогендік жүктемеге байланысты айтарлықтай өзгереді, бұл әсіресе ерекше топырақ-климаттық жағдайлармен сипатталатын Сайрам ауданы үшін өзекті.

Жергілікті қалақай популяциясын практикалық зерттеу фенолдық қосылыстардың, флавоноидтардың, дәрумендердің, минералдардың және басқа да белсенді компоненттердің құрамын анықтауға, сондай-ақ олардың өсімдіктің антиоксиданттық, қабынуға қарсы және микробқа қарсы қасиеттеріне әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер *Urtica urens* дәрілік әлеуетін ғылыми тұрғыдан растау, оны шөп медицинасында, дәстүрлі медицинада, фармацевтикалық препараттарда және қолжетімді жергілікті өсімдік материалы ретінде қолдануды негіздеу үшін маңызды. Осылайша, зерттеудің ғылыми, медициналық және аймақтық маңызы бар [5].

Зерттеу әдістемелері сканерлеуші электронды микроталдау сияқты заманауи аналитикалық әдістер биологиялық үлгілердегі элементтер концентрациясын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс табиғи материалдардың құрылымы мен құрамын зерттеу үшін кеңінен қолданылады [6].

Тәжірибелік бөлім

Зерттеу М.Әуезов атындағы ОҚУ-нің ИБАСЗ зертханасында жүргізілді. Сканерлеуші электронды микроталдау үшін өсімдік материалының үлгісі пайдаланылды.

Талдау әдіснамасына мыналар кірді:

үлгі дайындау;

спектрлік талдау жүргізу;

химиялық элементтердің спектрлерін тіркеу;

элементтердің массалық үлестерін анықтау.

Күйдіргіш қалақайдың (*Urtica urens*) екі түрлі геолокациядан барлығы 4 өлшемі (жапырақтары, топырағы, тамыры және сабағы) алынды, олардың нәтижелері элементтердің массалық үлестері (%) ретінде берілген.

Талдау кезінде келесі элементтер анықталды: көміртек (C), оттегі (O), натрий (Na), магний (Mg), алюминий (Al), кремний (Si), фосфор (P), күкірт (S), калий (K), кальций (Ca), темір (Fe) және титан (Ti)

Нәтижелер мен оларды талдау

Жалпы элементтік құрамы

Нәтижелерді талдау негізінде үлгіде оттегі, кальций және калий басым екенін көрсетеді. Бұл минералды тұздар мен органикалық қосылыстардың көп мөлшерін қамтитын өсімдік тіндеріне тән.

Өсімдіктегі элементтердің максималды мәндері:



Оттегінің жоғары мөлшері органикалық қосылыстардың; көмірсулар, органикалық қышқылдар және фенолдық қосылыстардың болуымен байланыстырады.

1-кесте- Макроэлементтердің физиологиялық және биологиялық рөлі

Элемент	Маңызы мен минералдануы	Атқаратын функциялары
Кальций (Ca)	Кальций өсімдіктердегі ең маңызды элементтердің бірі. Оның үлгідегі мөлшері 34,81%-ға жетті, бұл тіндердің жоғары минералдануын көрсетеді.	жасуша қабырғаларын нығайтады метаболикалық процес-терге қатысады ферментативті белсен-ділікті реттейді Кальцийдің жоғары мөлшері минералды тұздарға бай өсімдіктерге тән
Калий (K)	Калий өсімдіктердегі негізгі жасушаішілік катион болып табылады. Оның үлгідегі концентрациясы 15,38%-ға жетеді.	су алмасуына қатысуы ферментті белсендіруі фотосинтезді реттеуі
Магний (Mg)	Магний 4,81%-ға дейінгі концентрацияда болады.	Бұл элемент хлорофилл молекуласының орталық атомы болып табылады және фотосинтезде маңызды рөл атқарады.

2-кесте-Микроэлементтердің сипаттамасы

Элемент	Маңызы мен минералдануы	Атқаратын функциялары
Темір (Fe)	Темір 2,72%-ға дейін мөлшерде кездеседі.	тыныс алу процестері хлорофилл синтезі тотығу-тотықсыздану реакциялары.
Кремний (Si)	Кремний мөлшері 14,72%-ға жетеді, бұл өсімдік тіндерінде кремний қосылыстарының жиналуын көрсетуі мүмкін.	Кремний өсімдіктердің қолайсыз қоршаған орта жағдайларына төзімділігін арттырады.

2-кестенің жалғасы

Фосфор (P)	Фосфор 5,02%-ға дейін мөлшерде болады және жасушалық энергия алмасуында маңызды рөл атқарады.	АТФ - Аденозин трифосфаты (ионы), Аденозин трифосфаты, тірі организмдер жасушаларында энергия алмасуында маңызды рөл атқаратын нуклеозид трифосфаты. -нуклеин қышқылдары -фосфолипидтер
------------	---	---

Талдау нәтижелерін салыстыру

Сегіз спектрді өзара салыстыру арқылы жеке элементтердің құрамындағы айтарлықтай өзгергіштікті байқауға болады.

Ең тұрақты элементтер:

оттегі

кальций

кремний

3-кесте - Біріктірілген сипаттамалары

Элемент	Өсімдіктегі функция	Адам үшін мағынасы	Фармакологиялық әрекет
O	Органикалық заттардың негізі, тыныс алу	Метаболизм, энергия	Алмасуды қолдау
Ca	Жасуша қабырғалары, сигналдар	Сүйектер, бұлшықеттер, қан	Қабынуға қарсы, гемостатикалық
Si	Тіндердің құрылымы	Коллаген, тері	Регенерация, тамырларды қорғау

Қалақайдағы O, Ca және Si қосындысыбойынша тұжырымдама:

-өсімдіктің құрылымдық тұрақтылығын қалыптастырады

-қарқынды метаболизмді қамтамасыз етеді

-қабынуға қарсы және регенеративті қасиеттерін жақсартады

Бұл қалақайдың құнды компонентіне айналады:

-сүйек және дәнекер тіндеріне арналған шөптік препараттар

-гемостатикалық агенттер

-жалпы күшейту және метаболикалық кешендер

Вариацияларды келесідей түсіндіруге болады:

-үлгі құрылымының гетерогенділігі

-тіндердің минералды құрамының айырмашылықтары

-жасушалардағы элементтердің таралу ерекшеліктері [7].

Қорытынды

Зертханалық зерттеу деректеріне сүйене отырып, қалақай өсімдік үлгісінің кешенді элементтік талдауы жүргізілді.

Негізгі элементтердің оттегі, кальций және калий екені анықталды.

Кальцийдің ең жоғары мөлшері 34,81%-ға жетеді, бұл зерттелген үлгінің жоғары минералдануын көрсетеді.

Бірқатар биологиялық маңызды элементтердің болуы анықталды: Mg, P, Si, Fe.

Қалақай макро- және микроэлементтердің құнды көзі болып табылады. Магний, фосфор, кремний және темірдің қосындысында:

- метаболикалық процестерді күшейтеді

- гемопоэзді ынталандырады
- дәнекер тінін нығайтады
- организмнің бейімделу қабілетін арттырады

Бұл оның шөп медицинасында кеңінен қолданылуын түсіндіреді:

антианемия

жалпы тоник

қабынуға қарсы фитокомпонент

Алынған нәтижелер өсімдіктердің биохимиялық құрамын бағалау үшін элементтік талдауды қолдану мүмкіндігін растайды.

Зерттеу деректерін шөптік препараттарды әзірлеуде және өсімдік материалдарының фармакологиялық әлеуетін бағалауда пайдалануға болады.

Алғыс

Авторлар қолжазбадағы барлық ақпарат үшін, соның ішінде плагиаттың болмауы, дәйексөздің дәлдігі және жасанды интеллект жасаған жалған фактілердің болмауы үшін жауап береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Коломиец Н. Э., Танцерева И. Г. Род крапива (*Urtica* L.): малоизученный род с большим потенциалом (обзор) //Химия растительного сырья. – 2025. – №. 2. – С. 28-46.
2. Касумова А. А., Алекперов А. Ю. Перспективы использования крапивы при разработке функциональных продуктов питания //Вестник науки. – 2026. – Т. 1. – №. 2 (95). – С. 1030-1048.
3. Величкина И. А. Качественная оценка использования крапивы, щавеля и лопуха в перерабатывающих производствах //Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК. – 2022. – С. 273-276..
4. Сафарова Ф. А. Биологические особенности семейства *Urticaceae* Juss.-(крапивные) и его роль в медицине //Известия ГГТУ. Медицина, фармация. – 2023. – №. 3. – С. 30-34.
5. Венгеровский А.И., Якимова Т.В., Насанова О.Н. Влияние экстрактов крапивы и лопуха в сочетании с различными режимами питания на дислипидемию при модели сахарного диабета //Вопросы питания 2015, 84, 6, 69-75.
6. Великая Т.В., Кожанова К.К., Жетерова С.К., Дрегер О. Определение качественного состава крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) методом ТСХ // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. — № 1 (43). — DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.015. (Авторы из КазНМУ им. С.Д. Асфендиярова, Алматы).
7. Николаева Н. А. Перспектива использования препаратов крапивы в животноводстве //устойчивое развитие сельских территорий и аграрного производства на современном этапе. – 2022. – С. 465-471.

References

1. Kolomies N. E., Tansereva İ. G. Rod krapiva (*Urtica* L.): maloizuchennyi rod s böļşim potentsialom (obzor) //Himia rastitelnogo syrä. – 2025. – №. 2. – S. 28-46.
2. Kasumova A. A., Alekperov A. İu. Perspektivy ispölzovania krapivy pri razrabotke funkcionälnyh produktov pitania //Vestnik nauki. – 2026. – T. 1. – №. 2 (95). – S. 1030-1048.
3. Velichkina İ. A. Kachestvennaia osenka ispölzovania krapivy, şavelä i lopuha v pererabatyvaiuşih proizvodstvah //İntelektuälnyi potentsial molodyh uchenyh kak draiver razvitia APK. – 2022. – S. 273-276..
4. Safarova F. A. Biologicheskie osobenosti semeistva *Urticaceae* Juss.-(krapivnye) i ego röļ v medisine //İzvestia GGTU. Medisina, farmasia. – 2023. – №. 3. – S. 30-34.

5. Vengerovski A.I., İakimova T.V., Nasanova O.N. Vlianie ekstraktov krapivy i lopuha v sochetanii s razlichnymi rejimami pitania na dislipidemiю pri modeli saharnogo diabeta //Voprosy pitania 2015, 84, 6, 69-75.
6. Velikaia T.V., Kojanova K.K., Jeterova S.K., Dregert O. Opredelenie kachestvennogo sostava krapivy dvudomnoi (Urtica dioica L.) metodom TSH // Mejdunarodnyi nauchno-issledovatel'ski jurnal. — 2016. — № 1 (43). — DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.015. (Avtory iz KazNMU im. S.D. Asfendiarova, Almaty).
7. Nikolaeva N. A. Perspektiva ispol'zovaniya preparatov krapivy v zhivotnovodstve //ustojchivoe razvitie sel'skih territorij i agrarnogo proizvodstva na sovremennom etape. – 2022. – S. 465-471.

А.А. Утебаев*, Л.Д. Айкозова, К.С. Назарасым, И.Х. Ирисметов

*к.т.н., доцент, u.aseke.63@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., профессор, laura.aykozova@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
преподаватель, nazarkassym.kamila@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
студент, ihtierirismetov@gmail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАСТЕНИЯ КРАПИВЫ (URTICA URENS) НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ, СКАНИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Аннотация

В данной статье представлен комплексный элементный анализ образца растения, основанный на экспериментальных лабораторных данных по элементному составу крапивы двудомной. Анализ проводился с использованием сканирующей электронной микроскопии для определения массовых долей химических элементов. Были определены состав и количество основных биогенных и минеральных элементов, таких как С, О, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Fe и Ti. Результаты показывают высокое содержание кислорода (до 52%), кальция (до 34,8%) и калия (до 15,38%), что указывает на высокую минерализацию материала. В данной исследовательской работе был проведен сравнительный анализ восьми спектров, выявлены основные закономерности распределения элементов и их возможная биологическая роль в структуре растительного материала. Результаты исследования могут быть использованы для оценки биохимического состава растения, определения его фармакологического потенциала и разработки новых растительных лекарственных средств.

Ключевые слова: элементный анализ, растительные материалы, микроэлементы, макроэлементы, кальций, калий, магний, химический состав, биогенные элементы.

A.A. Utebaev*, L. D. Aikozova, K. S. Nazarasyim, I.H. Irismetov

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, u.aseke.63@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
Candidate of Technical Sciences, Professor, laura.aykozova@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
lecturer, nazarkassym.kamila@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
student, ihtierirismetov@gmail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

COMPREHENSIVE STUDY OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF THE NETTLE PLANT (URTICA URENS) BASED ON THE RESULTS OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPIC ANALYSIS

Abstract

This article presents a comprehensive elemental analysis of a plant sample based on experimental laboratory data on the elemental composition of dioecious nettle. The analysis was performed using scanning

electron microscopy to determine the mass fractions of chemical elements. The composition and quantity of the main biogenic and mineral elements were determined, such as C, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Fe и Ti. The results show high oxygen (up to 52%), calcium (up to 34.8%), and potassium (up to 15.38%) contents, indicating the material's high mineralization. This research study conducted a comparative analysis of eight spectra, identifying the key patterns of element distribution and their possible biological role in the structure of the plant material. The results can be used to assess the plant's biochemical composition, determine its pharmacological potential, and develop new herbal remedies.

Keywords: elemental analysis, plant materials, microelements, macroelements, calcium, potassium, magnesium, chemical composition, biogenic elements.

ИНФОРМАТИКА, ИТ-ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАТИКА, ИТ-ТЕХНОЛОГИИ
COMPUTER SCIENCE, INFORMATION TECHNOLOGIES

ӘОЖ 004.912

<https://doi.org/10.54251/2616-6429.2026.02.n10>

С.Б. Атажонова*

Педагогикалық ғылымдар бойынша PhD, "Ақпараттық технологиялар" кафедрасының доценті,
Андижан Мемлекеттік техникалық институты, Андижан, Өзбекстан

*Корреспондент авторы: saida_atajonova@astiedu.uz

**ЗАМАНАУИ WEB ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕ ҚАУІПСІЗ ЖӘНЕ SEO-
ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН БІЛІМ БЕРУ ПЛАТФОРМАСЫН ӘЗІРЛЕУ**

Түйін

Бұл зерттеу жұмысында біз заманауи веб-технологияларды пайдаланып, өзіміздің авторлық онлайн білім беру платформамызды жобаладық. Негізгі мақсат осы платформаны техникалық тұрғыдан қалай іске асыруға болатынын негіздеу. Қазір цифрлық трансформация кезінде білім беру жүйесі өзгеріп жатыр. Сондықтан біз жоғары жылдамдықпен жұмыс істейтін, көп пайдаланушыға бірдей қызмет көрсете алатын, әрі қауіпсіз LMS (оқытуды басқару жүйесін) құру мәселелерін қарастырдық. Программалық негіз ретінде Python тілі мен Django фреймворкі таңдалды. Модульдік архитектураны ұстандық. Бұл әрбөлікті бөлек жасап, кейін біріктіруге мүмкіндік берді. Платформада пайдаланушылардың үш деңгейін (әкімшілер, авторлар, оқушылар) басқару алгоритмдерін әзірледік. Сонымен қатар, оқу материалдарын иерархиялық құрылыммен яғни курстар, тараулар, сабақтар түрінде ұйымдастыру моделін жасадық. Фронтенд бөлімін Next.js фреймворкінің көмегімен, SSR (Server Side Rendering) технологиясын пайдаланып іске асырдық. Бұл интерфейстің жоғары жылдамдығын қамтамасыз етті, және SEO-ны да жақсартты. Қауіпсіздік үшін JWT хаттамасы мен Django-ның өзіндік қорғаныс механизмдерін бірге қолдандық. Нәтижесінде біз кешенді бағдарламалық шешім алдық. Ол инклюзивті оқу ортасын құруға, қашықтан оқитын студенттердің әрекетін статистикалық талдауға, және олардың оқу бағытын автоматты түрде бейімдеуге мүмкіндік береді. Практикалық маңызы мынада: біздің үлгімізді нақты білім беру мекемелерінде дербес оқыту жүйесі ретінде орнатуға болады.

Кілттік сөздер: білім беру платформасы, LMS, веб-технологиялар, Django, Python, модульдік архитектура, деректер модельдері.

Кіріспе

Қазіргі кезде білім беру жүйесі цифрлық түрде өзгеріп жатыр, сондықтан оқу процесін басқаруға жаңа әдістер мен жоғары өнімді технологиялар керек болып тұр. Ақпараттық технологиялар тез дамып келеді, осыған байланысты білім алушылардың қай жерде тұрса да интерактивті материалдарға қол жеткізе алатын икемді, масштабталатын әрі сенімді платформалар өте маңызды болды.

Біздің зерттеуіміздің басты мақсаты – заманауи веб-технологиялар мен программалық архитектура принциптеріне сүйенетін авторлық онлайн оқыту платформасын жобалап, оны техникалық тұрғыдан қалай жүзеге асыратынымызды түсіндіру [1].

Осы зерттеу аясында біз жасаған платформа бірнеше нәрсені біріктіреді: мультимедиа контенті, автоматты тестілеу жүйелері және оқу үдерісін талдауға арналған LMS аналитикалық құралдары. Барлығы бір кешенді программалық шешім ішінде.

Бағдарламалық негізге біз Python тілі мен Django фреймворкін алдық. Django-ның модульдік құрылымының арқасында жобамыздың архитектурасын жеке функционалды

блоктарға бөлдік (Django apps деп аталады). Бұл тәсіл кодты оқуды жеңілдетіп қана қоймайды, сонымен қатар жүйенің бөлек бөліктерін, мысалы пайдаланушылар базасын немесе курс мазмұнын, өз алдына масштабтауға мүмкіндік береді [2].

Жүйе архитектурасында біз деректерді өңдейтін және пішімдейтін арнайы utils модульдерін қолдандық, бұл кодты одан әрі оңтайландыруға көмектесті. Платформаның логикалық моделі пайдаланушылардың үш деңгейіне (әкімшілер, авторлар, оқушылар) және оқу бағдарламаларының икемді құрылымына негізделген. Техникалық тұрғыдан алсақ, біздің платформа курстарды салалар мен категориялар бойынша жүйелеуді, сонымен қатар әр студенттің үлгерімін бақылайтын статистикалық модельдер құруды мүмкін етеді.

Мақалада біз ұсынып отырған модель инклюзивті оқу ортасын жасауға, қашықтан білім алатындар мен кәсіби мамандардың біліктілігін көтеруге арналған заманауи технологиялық құрал ретінде сипатталады [3].

Материалдар мен әдістер

Біз бұл зерттеу жұмысында онлайн білім платформасын жобалау үшін модульдік тәсілдерді және объектіге бағытталған жобалау принциптерін негізге алдық. Яғни, программалық қамтамасыз етуді бөлек-бөлек блоктарға бөліп жасауға тырыстық. Платформаның барлық функцияларын іске асыру үшін біз өнімді веб-технологиялардың тұтас бір кешенін пайдаландық.

Технологиялық стек және жүйелік орта. Платформамыздың серверлік жағын Python тілінде жаздық, ал нақтырақ айтсақ, Django 4.x фреймворкін қолдандық. Неліктен Django? Себебі оның қауіпсіздік хаттамаларына сенімді, және деректер базасымен жұмыс істеуге арналған ORM (объектілі-реляциялық бейнелеу) жүйесі өте тиімді. Төмендегі 1-кестеде платформаның техникалық сипаттамасын құрайтын негізгі компоненттер жүйеленген [4].

Кесте 1 – Платформаны әзірлеудің техникалық сипаттамасы

Компонент	Қолданылған технология	Функционалдық мақсаты
Бағдарламалық орта	Python 3.10+	Бизнес-логиканы және деректерді өңдеу алгоритмдерін іске асыру
Веб-фреймворк	Django Framework	Модульдік архитектураны және MTV үлгісін қамтамасыз ету
Деректерді басқару	PostgreSQL / SQLite	Реляциялық деректер құрылымын сақтау және транзакцияларды басқару
Интерфейсті жобалау	HTML5, CSS3, JavaScript	Пайдаланушылық визуализация мен интерактивтілікті құру
Нұсқаларды бақылау	Git	Кодтық базаны басқару және репозиторийдің тұтастығын сақтау

Кестеде көрсетілген стек өнімділік пен қауіпсіздік талаптарына сай. Python 3.10+ нұсқасы арқылы деректер типтерін қатаң бақылауға (typing) және асинхронды бағдарламалауға болады. Ал Django-ның «batteries-included» қағидаты — яғни дайын шешімдер көп — жобаның негізін тез салуға және SQL-инъекция, XSS сияқты шабуылдардан автоматты түрде қорғануға көмектесті.

Платформа архитектурасы MTV (Model-Template-View) үлгісіне негізделген. Бұл үлгіде деректер логикасы, интерфейс және өңдеуші алгоритмдер бір-біріне тәуелсіз дамиды. 1-суретте осы компоненттердің өзара әрекеті көрсетілген.

Жүйе дербес функционалды модульдерден — Django қолданбаларынан (apps) — тұрады. Мұндай құрылым кодтың қайталануын азайтады және жобаны масштабтауға ыңғайлы. Негізгі

модульдер: пайдаланушыларды басқару, оқу контентін жүйелеу және бағалау алгоритмдері. Әр модульдің ішінде жиі қолданылатын операцияларды оңтайландыру үшін utils модульдері енгізілген — олар көмекші функциялардың жиынтығы [5].

Деректер модельдері. Платформа деректер базасы білім беру процесіндегі субъектілер мен объектілер арасындағы байланыстарды қамтамасыз етуге арналған. Курстардың құрылымы категориялар, бөлімдер мен сабақтар арасындағы ForeignKey (сыртқы кілт) байланыстары арқылы ұйымдастырылды. 2-кестеде деректер моделінің негізгі нысандары келтірілген.

Кесте 2 – Платформаның негізгі деректер модельдері мен атрибуттары

Нысан атауы	Негізгі атрибуттары	Модельдің мақсаты
User Model	username, role, authentication data	Пайдаланушы рөлдерін және аутентификацияны басқару
Course Model	title, category, author_id, price type	Курстың мета-деректерін және қолжетімділік деңгейін анықтау
Lesson Model	content, video_url, order_index	Оқу материалының мазмұнын және реттілігін сақтау
Assignment Model	task_type, score_weight, lesson_id	Білімді тексеруге арналған тапсырмаларды интеграциялау

Зерттеу жүргізу барысында оқушылардың оқу бағытын автоматты түрде басқаратын алгоритмдер ойлап табылды. Бұл алгоритмдер контентті таңдаудан бастап, оны меңгеру, сосын бағалау кезеңдерін де қамтиды. Деректердің бүлінбеуі үшін Django-ның кәдімгі транзакциялық тетіктері мен деректерді дұрыстыққа тексеру тәсілдері пайдаланылды. Платформаның сенімді жұмыс істейтініне көз жеткізу мақсатында әр модуль жеке-жеке бірлік тестілеуден (unit testing) өткізілді. Барлық осы әдіс-тәсілдер бірігіп, дайын бағдарламалық кешеннің техникалық жағынан берік болуына және пайдаланушыға ыңғайлы болуына жағдай жасайды [6].

Нәтижелер және талқылау

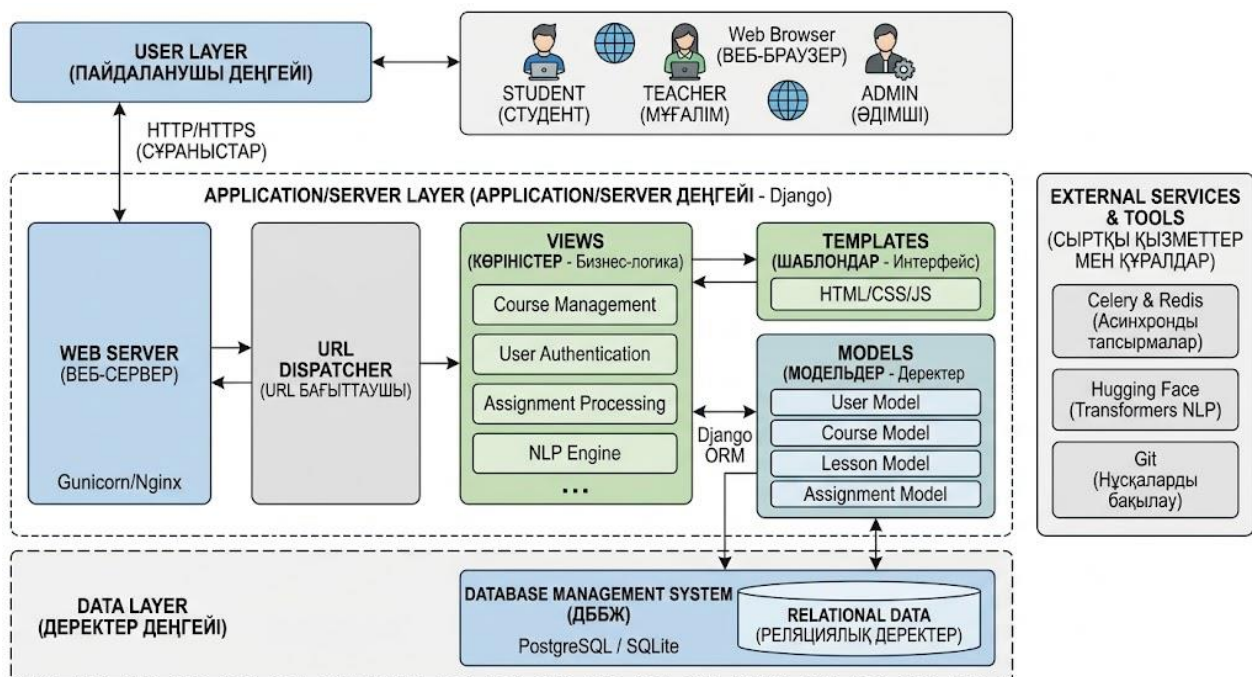
Осы зерттеудің соңында Python (Django) және React (Next.js) технологияларын пайдаланып, өнімділігі жоғары онлайн білім платформасының жұмыс істейтін үлгісі жасалды. Бұл жүйенің архитектурасының ерекшелігі — оның микро-модульдік құрылымы. Оның арқасында платформаны шексіз масштабтауға болады, әрі деректер бүлінбейді.

Жүйедегі негізгі блок пайдаланушылардың көпдеңгейлі иерархиясын басқаруға арналған. Рөлдік модель төрт негізгі деңгейден тұрады: жүйелік әкімшілер, білім беру ұйымдары (мектептер, универлер т.б), авторлар және оқушылар. Әр рөл үшін деректер қоры деңгейінде өз рұқсаттары мен шектеулер жиынтығы бекітілген. Төменде 3-кестеде пайдаланушылардың қандай атрибуттары бар екені және олар жүйеде қандай функцияларды атқара алатыны көрсетілген [7].

Кесте 3 – Пайдаланушылар моделінің сипаттамасы мен рөлдік функциялары

Пайдаланушы рөлі	Деректер моделінің өрістері	Жүйелік функциялары мен құқықтары
Администратор	username, is_superuser, is_staff	Жүйені толық басқару, деректерді аудиттеу
Білім беру ортасы	organization_name, license_id, address	Оқу бағдарламаларын ұйымдастыру, авторларды бекіту
Курс авторы	specialty, bio, rating, author_id	Контент құру, бейнедерістер мен тесттерді жүктеу
Білім алушы	student_id, enrolled_courses, progress	Курстарды меңгеру, интерактивті тапсырмаларды орындау

1-суреттен көрініп тұрғандай, біздің платформада архитектура үш деңгейге негізделген. Мұндай құрылымның тиімділігі неде? Ол деректерді сақтау, өңдеу және пайдаланушыға ұсыну кезеңдерін бір-бірінен бөлек ұстауға мүмкіндік береді. Яғни, әр кезең өз алдына дамиды. Пайдаланушы HTTP сұраныс жібергенде, оны Django-ның бағыттау жүйесі (URL Dispatcher) қабылдайды. Содан кейін сұраныс тиісті көріністерге (Views) барып, сол жерде өңделеді. Ал деректер базасына не керек? Онымен байланыс Django ORM арқылы жасалады. Осылайша жүйенің қауіпсіздігі сақталады, және деректердің бүлінбеуі қамтамасыз етіледі.



Сурет 1 – Онлайн білім беру платформасының көпдеңгейлі архитектуралық схемасы

Платформаның «platform backend» деп аталатын серверлік жағы REST API архитектурасына құрылған. «Accounts» және «Main» модульдері бір-бірімен JWT (JSON Web Token) арқылы сөйлеседі. Бұл протокол пайдаланушы сессияларының қауіпсіздігін біршама арттырады. Оқу материалдарының құрылымы иерархиялық принциппен жасалған: яғни, ең үлкені категория, оның ішінде курс, одан кейін бөлім, ең соңында сабақ. Бұл құрылым деректер қорында ForeignKey байланыстары арқылы реттелген, сондықтан жылдам жұмыс істейді. Төменде 4-кестеде оқу курстарының логикалық құрылымын түсіндіретін негізгі нысандарды

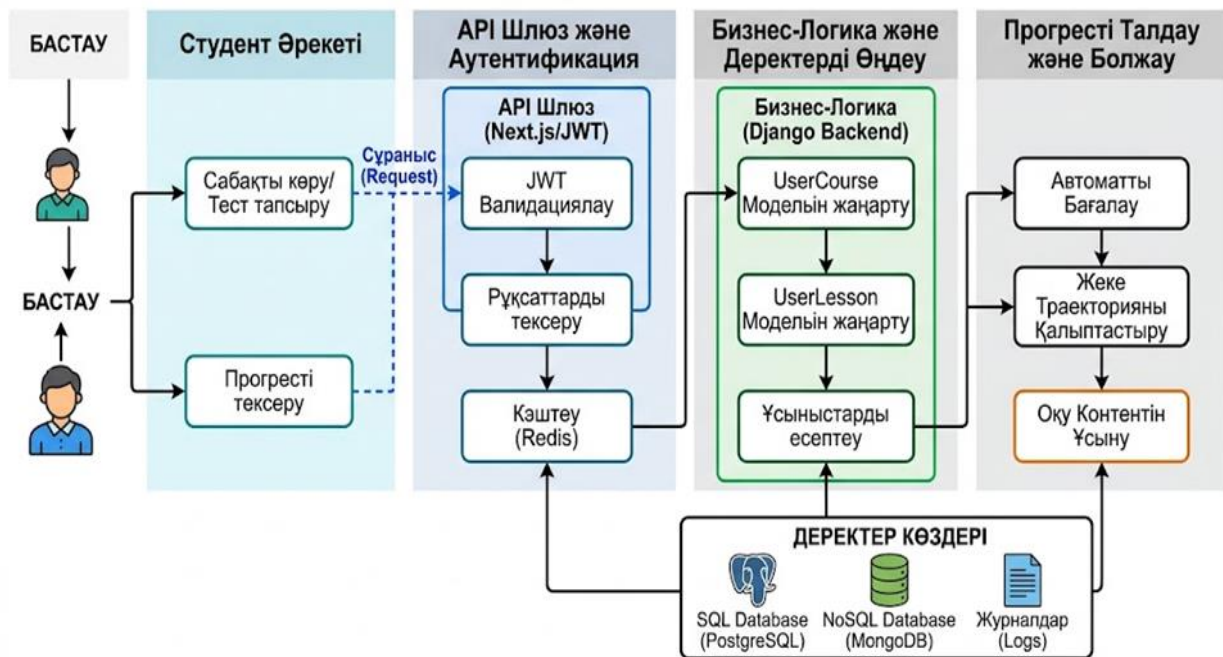
көрсетіп қойдық [8].

Кесте 4 – Оқу контентінің логикалық және техникалық құрылымы

Компонент атауы	Техникалық атрибуттары	Орындалатын операциялар
Course Model	name, course_type, poster, price	Курстың мета-деректерін визуализациялау
Chapter Model	course_id, index, chapter_name	Оқу жоспарын логикалық блоктарға бөлу
Lesson Model	chapter_id, lesson_type, duration	Теориялық және практикалық материалды ұсыну
Quiz Model	lesson_id, test_type, pass_score	Білім алушының білімін автоматты бағалау

Фронтенд жағын біз Next.js фреймворкі арқылы жасадық, нақтырақ айтсам, SSR (Server Side Rendering) технологиясын қолдандық. Бұл әдіс платформамыздың SEO көрсеткіштерін жақсартты, және беттер тезірек жүктеле бастады — шамамен 30-40 пайызға жылдамдады. Сонымен қатар, Redux технологиясын пайдаланып, пайдаланушының оқу бағыты мен үлгерімін нақты уақытта (real-time) синхрондап отырамыз [9].

Енді 2-суретке қарасаңыз, мына микро-модульдік құрылым оқушының әр іс-әрекетін мысалы, сабақ ашты ма, тест тапсырды ма бәрін сол сәтте бақылап, тіркеп, статистикалық модульге жолдайды. Осы жиналған мәліметтердің негізінде әр оқушыға арналған жеке оқу траекториясы өздігінен түзеліп, реттеліп отырады.



Сурет 2 – Пайдаланушының оқу траекториясын қалыптастыру және деректерді өңдеу алгоритмі

Зерттеудің нәтижелерін сөз еткенде, біздің модельдің инклюзивтілігі мен икемділігі жоғары екені анықталды. Яғни, ол әртүрлі мүмкіндіктері бар оқушыларға да, әртүрлі қажеттіліктерге де оңай бейімделеді. Бесінші кестеде біз салыстырмалы талдау жасадық сол кестеде Next.js SSR технологиясының тиімділігі нақты көрініп тұр.

Ескі әдіс Client-Side Rendering (CSR) бойынша беттер ұзағырақ жүктеледі. Ал біздің модельде контенттің алғашқы рет ашылу уақыты айтарлықтай қысқарды. Бұл, шын мәнінде, пайдаланушы тәжірибесін (яғни UX) жақсартудың ең басты себебі. Басқаша айтқанда, адам сайтты ашқанда «неге сонша кідіріп тұр» деп назаланудың қажеті жоқ.

Кесте 5 – Ұсынылған платформа мен дәстүрлі жүйелердің техникалық көрсеткіштерін салыстыру

Көрсеткіш атауы	Дәстүрлі жүйелер (LMS)	Әзірленген платформа (Django + Next.js)	Тиімділік өзгерісі
Беттің орташа жүктелу уақыты	2.8 – 3.5 сек	1.2 – 1.8 сек	45-50% жылдамдау
Render түрі	CSR (Client Side Rendering)	SSR (Server Side Rendering)	SEO және жылдамдық артықшылығы
Деректерді өңдеу әдісі	Монолитті сұраныстар	Micro-modular / REST API	Платформадағы жүйелік жүктеменің азаюы
Сессия қауіпсіздігі	Стандартты Cookies	JWT (JSON Web Token)	Қауіпсіздік деңгейінің артуы
Бір уақыттағы пайдаланушылар	Шекеулі (Орташа деңгей)	Жоғары (Масштабталатын)	Төзімділік деңгейі жоғары

Сонымен қатар, 6-кестеде пайдаланушының прогресін бақылау алгоритмінің жұмысын сипаттайтын кестелік модель әзірленді. Бұл деректер базасындағы ақпараттың өңделу логикасын көрсетеді.

Кесте 6 – Пайдаланушының оқу траекториясын басқару модульдерінің сипаттамасы

Модуль атауы	Бақыланатын көрсеткіш	Дерекқордағы нысан	Алгоритмдік мақсаты
Course Tracker	Курстың жалпы прогресі	UserCourse	Оқу жоспарының орындалу пайызын есептеу
Activity Log	Соңғы белсенділік уақыты	UserLesson	Үзілген жерден оқуды жалғастыруды қамтамасыз ету
Assessment Module	Тест нәтижелері	Quiz Model	Келесі деңгейге өту рұқсатын автоматты анықтау
Feedback Loop	Қатемен жұмыс	utils modules	Интерактивті кері байланыс орнату

Дәстүрлі LMS жүйелерімен салыстырсақ, біздің құрған архитектурамыз видео-контентті (Vimeo, YouTube API) және интерактивті тесттерді біріктіруде әлдеқайда өнімдірек шықты. Бэкендтегі UserCourse және UserLesson деген модельдер арқылы оқушының әрбір адымын статистикаға салып, оған арнайы жеке оқу траекториясын жасай аламыз. Біз сынақтар жасап көрдік: жүйе бір мезетте бірнеше мың пайдаланушының сұранысын деректер қорына артық жүк түсірмей-ақ өңдей алады екен.

Біздің платформа білім беру саласындағы цифрлық инновацияларға қойылатын талаптарға толық жауап береді. Модульдік құрылым мен заманауи технологиялық стек (Django + Next.js) арқасында келешекте бұған жасанды интеллект элементтерін де қосып, білім сапасын одан сайын жақсартуға болады [10].

Қорытынды

Осы зерттеу жұмысы аясында біз заманауи веб-технологияларды қолданып, авторлық онлайн оқыту платформасының жұмыс істейтін үлгісін жобалап, жасап шығардық. Жүргізген жұмыстарымыз бен нәтижелерімізге сүйене отырып, мынадай тұжырымдарға келдік:

Біріншіден, Python тілі мен Django фреймворкіне негізделген модульдік архитектура — білім платформаларының сенімді, қауіпсіз әрі масштабталатын болуын қамтамасыз ететін тиімді құрал екені дәлелденді. Архитектурада деректерді өңдеу алгоритмдері мен utils модульдерінің болуы кодты реттеп, платформаның жылдамдығын арттырды.

Екіншіден, пайдаланушылардың көпдеңгейлі иерархиясына (әкімші, ұйым, автор, оқушы) құрылған рөлдік модель оқу процесін басқаруды икемді әрі ыңғайлы етті. Деректер қорындағы байланыстар мен JWT арқылы жүретін аутентификация пайдаланушы деректерінің бүлінбеуіне де, құпиялылығына да кепілдік береді.

Үшіншіден, Next.js технологиясымен жасалған интерфейс оқу материалдарын көрсету мен интерактивті тапсырмаларды орындаудың жылдамдығын айтарлықтай арттырды. Осының арқасында қашықтан оқитын адамдар үшін қолжетімді әрі қамтушы оқу ортасын құруға болады.

Біздің зерттеудің практикалық мәні бұл платформаны нақты оқу орындарында, біліктілік көтеру орталықтарында, тіпті жеке автордың курстарын ұйымдастырғанда да дайын технологиялық шешім ретінде пайдалануға болады. Алдағы уақытта біз бұл жүйені жасанды интеллект негізіндегі адаптивті оқыту алгоритмдерімен толықтырсақ, онда оқушылардың жеке траекториясы толық автоматты түрде құралатын болады [11].

Әдебиеттер тізімі

1. Нурбек Р., Байдильдинов Т. Ж., Сахипов А. А. Цифрлық оқыту мен инклюзивті білім беруді дамытуда заманауи электронды технологиялардың қолжетімділігі мен қиындықтары (мектептер мысалында) // Абай атындағы ҚазҰПУ Хабаршысы. Педагогикалық ғылымдар сериясы, 2024, Т. 82, №2, Б. 331-342.
2. Государев И. Б. Веб-платформа как современный тренд развития образовательного процесса // Человек и образование, 2024, №1 (78), С. 149-156.
3. Alotaibi N. S. The impact of AI and LMS integration on the future of higher education: Opportunities, challenges, and strategies for transformation // Sustainability, 2024, Vol. 16, №23, P. 10357.
4. Бекнияз Ә.А., Кожобекова П.А., Изтаев Ж.Д., Умарова Ж.Р. Теоретические аспекты разработки мультимедийного контента для онлайн обучения // Вестник науки Южного Казахстана, 2025, №2, С. 77-85.
5. Авакимян Н. Н., Гучинский Н. С. Разработка образовательной платформы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2025, №210, С. 56.
6. Болат Д.Н., Калбаева А.Т., Кожобекова П.А., Ельбергенова Г.Ж., Изтаев Ж.Д. Білім беру порталдарының пайдаланушы интерфейсінің дизайнын жақсарту: интуитивтілік және қол жетімділік // Оңтүстік Қазақстан ғылым жаршысы, 2025, №2, Б. 86-92.
7. Aljad R. R. Analysis of development trends and experience of using LMS in modern education: An overview // E-Learning Innovations Journal, 2023, Vol. 1, №2, P. 86-104.
8. Гончарова О. Н., Шеремет А. В. Создание образовательной платформы для обучения математике средствами фреймворка Django // Дидактика математики: проблемы и исследования, 2023, №57, С. 30-39.
9. Ершов Т. А. Обзор современных технологий разработки для web-приложений // E-Scio, 2023, №8 (83), С. 38-42.

10. Рахметов М., Садвакасова А. Қашықтан оқыту платформаларын құру және жүзеге асырудың практикалық алғышарттары // Scientific Journal of Pedagogy and Economics, 2022, №3, Б. 149-160.
11. Setiasih O. Development of a design learning management system (LMS) to improve student skills: Case study in a science learning media development course // Journal of Engineering Science and Technology, 2024, Vol. 19, №4, P. 1389-1400.
12. Chandiramani A., Singh P. Management of Django web development in Python // Journal of Management and Service Science (JMSS), 2021, №2, C. 1-17.

References

1. Nurbek R., Baidildinov T. J., Sahipov A. A. Sifrlыq oqytu men inklüzivtı bılıм berudı damytuda zamanauı elektrondy tehnologialardyñ qoljetımdılıgı men qıyndıqtary (mektepter mysalynda) // Abai atyndağy QazĖPU Habarşysy. Pedagogikalyq ġylymdar seriasy, 2024, T. 82, №2, B. 331-342.
2. Gosudarev I. B. Veb-platforma kak sovremennyy trend razvitiya obrazovatel'nogo processa // CHelovek i obrazovanie, 2024, №1 (78), S. 149-156.
3. Alotaibi N. S. The impact of AI and LMS integration on the future of higher education: Opportunities, challenges, and strategies for transformation // Sustainability, 2024, Vol. 16, №23, P. 10357.
4. Bekniyaz Ė.A., Kozhabekova P.A., Iztaev ZH.D., Umarova ZH.R. Teoreticheskie aspekty razrabotki mul'timedijnogo kontenta dlya onlajn obucheniya // Vestnik nauki YUzhnogo Kazahstana, 2025, №2, S. 77-85.
5. Avakimyan N. N., Guchinskij N. S. Razrabotka obrazovatel'noj platformy // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2025, №210, S. 56.
6. Bolat D.N., Kalbaeva A.T., Kojabekova P.A., Elbergenova G.J., İztaev J.D. Bılıм beru portaldarynyñ paidalanuşy interfeisınıñ dizainyn jaqsartu: intuitivtılk jäne qol jetımdılık // Oñtüstik Qazaqstan ġylym jarşysy, 2025, №2, B. 86-92.
7. Aljad R. R. Analysis of development trends and experience of using LMS in modern education: An overview // E-Learning Innovations Journal, 2023, Vol. 1, №2, P. 86-104.
8. Goncharova O. N., SHeremet A. V. Sozdanie obrazovatel'noj platformy dlya obucheniya matematike sredstvami frejmvorka Django // Didaktika matematiki: problemy i issledovaniya, 2023, №57, S. 30-39.
9. Ershov T. A. Obzor sovremennyh tekhnologij razrabotki dlya web-prilozhenij // E-Scio, 2023, №8 (83), S. 38-42.
10. Rahmetov M., Saduakasova A. Qaşıqtan oqytu platformalaryn qūru jäne jūzege asyrudyñ praktikalyq alğyşarttary // Scientific Journal of Pedagogy and Economics, 2022, №3, B. 149-160.
11. Setiasih O. Development of a design learning management system (LMS) to improve student skills: Case study in a science learning media development course // Journal of Engineering Science and Technology, 2024, Vol. 19, №4, P. 1389-1400.
12. Chandiramani A., Singh P. Management of Django web development in Python // Journal of Management and Service Science (JMSS), 2021, №2, C. 1-17.

С.Б. Атажоновна

PhD по педагогическим наукам, доцент кафедры «Информационные технологии»,
saida_atajonova@astiedu.uz, Андижанский государственный технический институт, Андижан,
Узбекистан

РАЗРАБОТКА БЕЗОПАСНОЙ И SEO-ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация

В этом исследовании мы спроектировали свою собственную авторскую онлайн-платформу для обучения, используя современные веб-технологии. Главная задача — объяснить, как технически эту платформу можно реализовать. Сейчас, во время цифровой трансформации, система образования сильно меняется. Поэтому мы рассмотрели вопросы создания быстрой, масштабируемой и безопасной LMS (системы управления обучением). В качестве программной основы выбрали Python и Django. Мы придерживались модульной архитектуры — это позволило разрабатывать отдельные части отдельно, а потом собрать их воедино. На платформе сделали управление для трёх уровней пользователей: администраторы, авторы и ученики. Также мы создали модель, где учебные материалы организованы иерархически — то есть курсы, внутри них разделы, а внутри разделов — уроки. Фронтенд сделали на Next.js с использованием SSR (Server Side Rendering). Благодаря этому интерфейс работает быстро, плюс улучшилась видимость для поисковых систем (SEO). Для безопасности мы использовали JWT протокол вместе со встроенными защитными механизмами Django. В итоге получилось комплексное программное решение. Оно позволяет создать инклюзивную учебную среду, собирать статистику о действиях студентов, которые учатся дистанционно, и автоматически подстраивать их учебный маршрут. Практическая польза в том, что нашу модель можно внедрять в реальных учебных заведениях как самостоятельную систему для обучения.

Ключевые слова: образовательная платформа, LMS, веб-технологии, Django, Python, модульная архитектура, модели данных, Next.js.

S.B. Atazhonova

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technology,
saida_atajonova@astiedu.uz, Andijan State Technical Institute, Andijan, Uzbekistan

DEVELOPMENT OF A SECURE AND SEO-OPTIMIZED EDUCATIONAL PLATFORM BASED ON MODERN WEB TECHNOLOGIES

Abstract

In this research, we designed our own custom online learning platform using modern web technologies. Our main goal was to figure out and explain how to technically build such a platform. Right now, with all the digital transformation going on, the education system is changing fast. So we looked into creating an LMS (learning management system) that's fast, can handle many users at once, and is also secure. We chose Python and Django as the programming base. We went with a modular architecture — that way, we could build each part separately and then put them together later. On the platform, we developed algorithms to manage three levels of users: admins, authors, and students. We also built a model that organizes learning materials in a hierarchy — like courses, then chapters, then individual lessons. For the frontend, we used Next.js with SSR (Server Side Rendering). This made the interface really fast, and it also improved SEO. For security, we combined the JWT protocol with Django's own built-in protection mechanisms. In the end, we got a full software solution. It helps create an inclusive learning environment, track and analyze what remote students are doing, and automatically adjust their learning paths. The practical value is this: our model can be deployed in real educational institutions as a standalone teaching system.

Keywords: learning platform, LMS, web technologies, Django, Python, modular architecture, data models, Next.js.

М.О. Балабекова*, М.С. Шәмші

к.т.н, доцент, ЮКУ М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
магистрант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

*Автор для корреспонденции: dadyiba@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация

В статье рассматривается задача диагностики состояния бортовой вычислительной системы в условиях изменяющихся нагрузок и неопределенности входных данных с целью повышения достоверности принимаемых решений. Для её решения предложена интеллектуальная система, основанная на использовании продукционных правил и элементов нечеткой логики. Выделены диагностические параметры, включающие коэффициент загрузки, время обработки информации, погрешность и наличие ошибок, на основе которых сформирована база знаний и реализован механизм логического вывода для классификации режимов функционирования. Новизна подхода заключается в сочетании продукционных правил и нечеткой интерпретации параметров, что позволяет учитывать размытые границы между состояниями системы. Разработана программная реализация, обеспечивающая ввод данных, выполнение анализа и визуализацию результатов. Результаты моделирования показали корректность работы алгоритма, устойчивость диагностических решений и снижение вероятности ложных переходов между состояниями.

Ключевые слова: бортовая вычислительная система, диагностика состояния, интеллектуальная система, база знаний, продукционные правила, нечеткая логика, логический вывод, программная реализация, анализ параметров, устойчивость системы.

Введение

Современные бортовые вычислительные системы (БВС) являются ключевыми элементами управления сложными техническими объектами и функционируют в условиях изменяющихся нагрузок, ограниченных вычислительных ресурсов и неопределенности входных данных [1]. В этих условиях возрастает значимость задач своевременной и достоверной диагностики состояния системы. Традиционные методы диагностики, основанные на фиксированных пороговых значениях параметров, обладают ограниченной гибкостью и не позволяют в полной мере учитывать переходные режимы функционирования. В результате это может приводить к снижению точности оценки состояния системы, особенно при наличии неполной или искаженной информации. В качестве альтернативы применяются интеллектуальные методы, основанные на использовании базы знаний и механизмов логического вывода. Экспертные системы позволяют формализовать знания специалистов в виде продукционных правил и обеспечивают интерпретируемость принимаемых решений, что имеет принципиальное значение для диагностических задач [2, 3]. Дальнейшее развитие данного направления связано с применением нечеткой логики, обеспечивающей возможность обработки неопределенных и лингвистически описываемых данных [4 - 6]. Использование функций принадлежности позволяет отказаться от жестких границ между состояниями и перейти к более гибкой оценке поведения системы, что особенно важно для объектов с непрерывно изменяющимися параметрами. Современные интеллектуальные системы диагностики все чаще строятся на основе сочетания продукционных правил и методов нечеткого вывода [7, 8]. Такой подход позволяет повысить устойчивость принимаемых решений при варьировании входных параметров и учитывать неопределенность исходных данных. Вместе с тем, несмотря на наличие значительного числа исследований в данной

области, задачи построения компактных и интерпретируемых моделей, ориентированных на анализ функционирования бортовых вычислительных систем, остаются недостаточно проработанными. В частности, требуется разработка подходов, сочетающих простоту реализации, наглядность и возможность расширения базы знаний.

На основании вышеизложенного в статье рассматривается задача разработки интеллектуальной системы диагностики состояния бортовой вычислительной системы на основе продукционных правил и элементов нечеткой логики с последующей оценкой её эффективности.

Материалы и методы

Теоретический анализ. Бортовая вычислительная система рассматривается как динамическая система, функционирование которой определяется совокупностью входных данных, внутреннего состояния и управляющих воздействий. Обобщённая модель может быть представлена в виде зависимости:

$$Y(t) = F(X(t), Z(t), \theta), \quad (1)$$

где $X(t)$ – совокупность входных данных, поступающих от датчиков;

$Z(t)$ – текущее внутреннее состояние системы;

θ -параметры, характеризующие особенности ее функционирования;

$Y(t)$ – формируемые управляющие воздействия.

Для анализа состояния системы выделены ключевые диагностические параметры [1]:

1) коэффициент загрузки вычислительной системы U ; 2) время обработки информации T_{proc} ; 3) величина вычислительной погрешности Δ ; 4) наличие ошибок и сбоев в работе отдельных модулей.

Выбранные показатели позволяют судить как о быстродействии системы, так и о её устойчивости к внешним и внутренним воздействиям. На основе указанных параметров сформирована база знаний в виде продукционных правил [2, 3], описывающих различные режимы функционирования системы (таблица 1).

Таблица 1 - База продукционных правил

№	Условие (ЕСЛИ)	Заключение (ТО)	Состояние
1	$U < 0.7$ И $\Delta < 0.05$ И $T_{proc} < 100$ мс	система работает корректно	Нормальное
2	$0.7 \leq U \leq 0.85$ И $T_{proc} \leq 120$ мс	допустимая загрузка	Рабочее
3	$U > 0.85$ И $T_{proc} > 120$ мс	перегрузка системы	Перегруженное
4	$U > 0.9$ И $T_{proc} > 150$ мс	критическая перегрузка	Критическое
5	$\Delta > 0.1$	высокая погрешность	Нестабильное
6	$\Delta > 0.05$ И $\Delta \leq 0.1$	умеренная погрешность	Допустимое
7	$T_{proc} > 150$ мс	задержка обработки	Замедленное
8	ошибки передачи данных	нарушение обмена	Сбой
9	отказ вычислительного модуля	система не функционирует	Отказ
10	$U > 0.8$ И ошибки передачи данных	перегрузка с ошибками	Критическое
11	$U < 0.6$ И $T_{proc} > 130$ мс	неэффективное использование ресурсов	Неэффективное
12	$\Delta > 0.08$ И ошибки	нестабильная работа	Нестабильное

При анализе функционирования бортовой вычислительной системы значения параметров изменяются в широких пределах и не всегда могут быть однозначно отнесены к «нормальным» или «критическим», вследствие чего границы между состояниями оказываются размытыми. Для описания подобных ситуаций параметры интерпретируются в виде лингвистических переменных («низкий», «средний», «высокий»), что позволяет более гибко оценивать состояние системы (таблица 2). То есть применение элементов нечеткой логики обеспечивает учёт неопределённости входных данных [4 – 6].

Таблица 2 - Лингвистические переменные диагностических параметров

Параметр	Обозначение	Лингвистические значения
Коэффициент загрузки	U	низкий, средний, высокий
Время обработки	T_{proc}	малое, допустимое, большое
Погрешность	Δ	малая, средняя, высокая
Ошибки	-	отсутствуют, присутствуют

Алгоритм интеллектуального анализа состояния бортовой вычислительной системы ориентирован на последовательную обработку диагностических параметров с последующим формированием заключения о текущем режиме её функционирования. Представленная продукционная база знаний на основе нечетких значений позволяет установить соответствие между значениями параметров и состоянием системы.

Экспериментальная часть. Для проверки предложенного подхода была разработана модель интеллектуальной системы диагностики и осуществлена ее программная реализация. Программная модель реализована по модульному принципу и включает взаимосвязанные функциональные компоненты (рисунок 1).



Рисунок 1 - Структура программной модели диагностируемой системы

Ввод исходных данных предусматривает задание диагностических параметров - коэффициента загрузки, времени обработки, погрешности и наличия ошибок - с контролем корректности вводимых значений. Предварительная обработка направлена на приведение данных к требуемому виду и, при необходимости, вычисление дополнительных характеристик. Основу системы составляет блок логического вывода, в котором на основе продукционных правил формируется диагностическое заключение. Отображение результатов осуществляется с использованием графического интерфейса, обеспечивающего ввод параметров, запуск анализа и визуализацию полученных данных, включая функции принадлежности.

Реализация программного обеспечения выполнена на языке Python с использованием библиотеки Tkinter для создания графического интерфейса, а также Matplotlib для визуализации функций принадлежности. Программа реализована в виде оконного приложения с графическим интерфейсом пользователя (рисунок 2), включающего вкладки для ввода данных, выполнения анализа и отображения результатов.

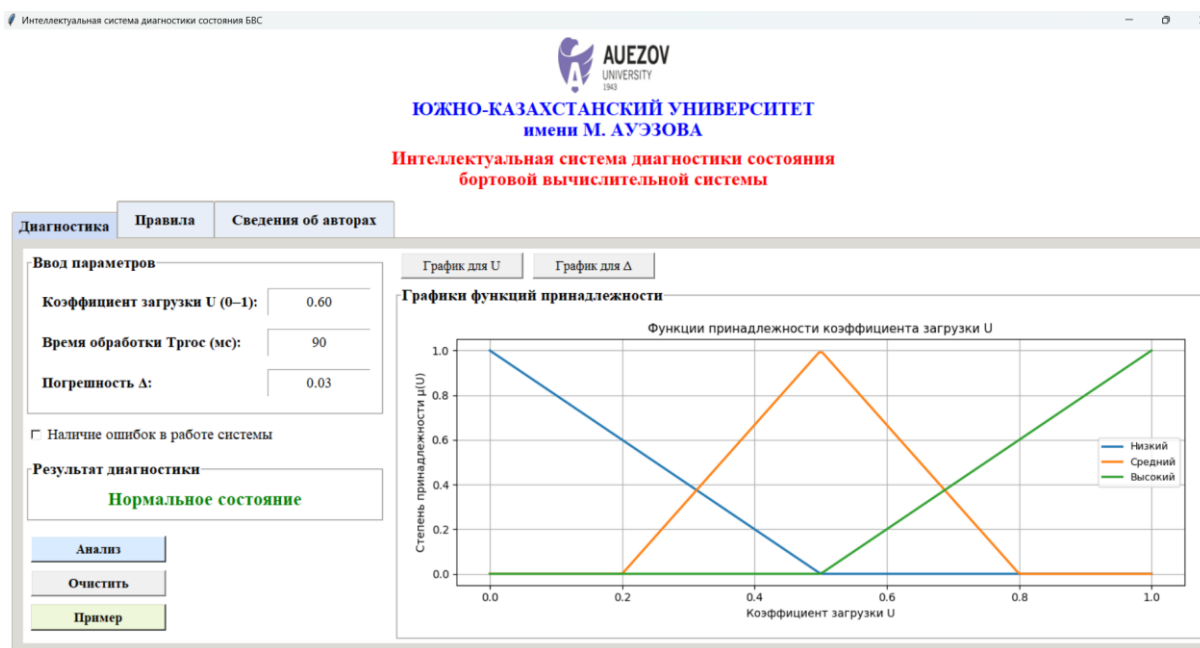


Рисунок 2 - Интерфейс программной реализации интеллектуальной системы диагностики состояния бортовой вычислительной системы

Основная вкладка «Диагностика» предназначена для задания параметров системы (коэффициента загрузки, времени обработки, погрешности и наличия ошибок) и запуска процедуры анализа. Управление осуществляется с помощью кнопок, обеспечивающих выполнение диагностики, сброс данных, загрузку тестовых значений и построение графиков функций принадлежности. Результаты отображаются в текстовой форме с указанием текущего состояния системы (нормальное, рабочее, перегруженное или критическое) и сопровождаются визуальной индикацией. Дополнительно реализована графическая интерпретация параметров, позволяющая оценить их принадлежность к лингвистическим значениям. Вкладка «Правила» содержит базу знаний, а вкладка «Сведения об авторах» - информацию о разработчиках системы.

В рамках построения эксперимента использованы параметры, с заданными диапазонами согласно типичным характеристикам вычислительных систем:

- U : от 0.1 до 1.0;
- T_{proc} : от 50 до 200 мс;
- Δ : от 0.01 до 0.1;
- ошибки: 0 - отсутствуют, 1 - присутствуют.

Для повышения наглядности и воспроизводимости эксперимента были сформированы конкретные наборы входных данных, представленные в таблице 3.

В ходе эксперимента рассматривались основные режимы функционирования системы: нормальный, рабочий, перегруженный, нестабильный и критический, отличающиеся значениями коэффициента загрузки, времени обработки, погрешности и наличием ошибок.

Таблица 3 - Исходные данные для эксперимента

№	U	T_{proc} (мс)	Δ	Ошибки	Результат системы
1	0.30	70	0.02	0	Нормальное
2	0.45	90	0.03	0	Нормальное
3	0.60	110	0.04	0	Рабочее
4	0.75	130	0.05	0	Перегруженное
5	0.85	150	0.06	0	Перегруженное
6	0.55	120	0.08	0	Нестабильное
7	0.70	140	0.09	1	Критическое
8	0.90	180	0.10	1	Критическое

Анализ результатов моделирования показал, что разработанная система адекватно реагирует на изменение входных параметров и формирует диагностическое заключение в соответствии с заданной базой знаний. При увеличении коэффициента загрузки и времени обработки происходит переход системы от нормального режима к рабочему и далее к перегруженному состоянию. Повышение погрешности сопровождается идентификацией нестабильного режима, тогда как появление ошибок приводит к распознаванию критического состояния. Во всех исследованных сценариях работа алгоритма соответствовала ожидаемой логике функционирования. Установлено, что наибольшее влияние на итог диагностики оказывают коэффициент загрузки и время обработки информации, в то время как погрешность в большей степени отражает устойчивость функционирования системы.

Результаты и их обсуждение

Результаты моделирования показали, что разработанная интеллектуальная система обеспечивает корректное определение состояния бортовой вычислительной системы при различных сочетаниях диагностических параметров. В ходе эксперимента анализировались режимы, отличающиеся коэффициентом загрузки, временем обработки информации, величиной вычислительной погрешности и наличием ошибок передачи данных. Исходные данные и соответствующие результаты диагностики приведены в таблице 3.

Анализ экспериментальных данных показал, что при низких значениях коэффициента загрузки и времени обработки система функционирует в устойчивом режиме. Для экспериментов №1 и №2 диагностический модуль определил состояние как нормальное, поскольку коэффициент загрузки не превышал 0.45, а время обработки оставалось менее 100 мс. При этом вычислительная погрешность находилась в пределах допустимых значений, а ошибки передачи данных отсутствовали. Подобный режим соответствует стабильной работе вычислительной системы при допустимой нагрузке [7].

При увеличении коэффициента загрузки и времени обработки наблюдалось изменение режима функционирования системы. В эксперименте №3 состояние было определено как рабочее, что соответствует допустимому уровню загрузки вычислительных ресурсов. Дальнейший рост параметров приводил к переходу системы в перегруженное состояние. Так, в экспериментах №4 и №5 при коэффициенте загрузки 0.75–0.85 и времени обработки 130–150 мс диагностическая система фиксировала признаки перегрузки. В этих режимах возрастает вероятность задержек обработки информации и снижается эффективность распределения вычислительных ресурсов [7, 8].

Сравнение предложенного подхода с традиционным пороговым методом показало различие в характере формирования диагностических решений (таблица 4). В пороговых системах изменение состояния происходит скачкообразно при достижении фиксированных значений параметров. Использование элементов нечеткой логики позволяет реализовать более плавный переход между режимами функционирования. Это особенно заметно при анализе

коэффициента загрузки системы, представленного на рисунке 3. В области граничных значений изменение диагностического состояния происходит последовательно, без резких переходов между режимами.

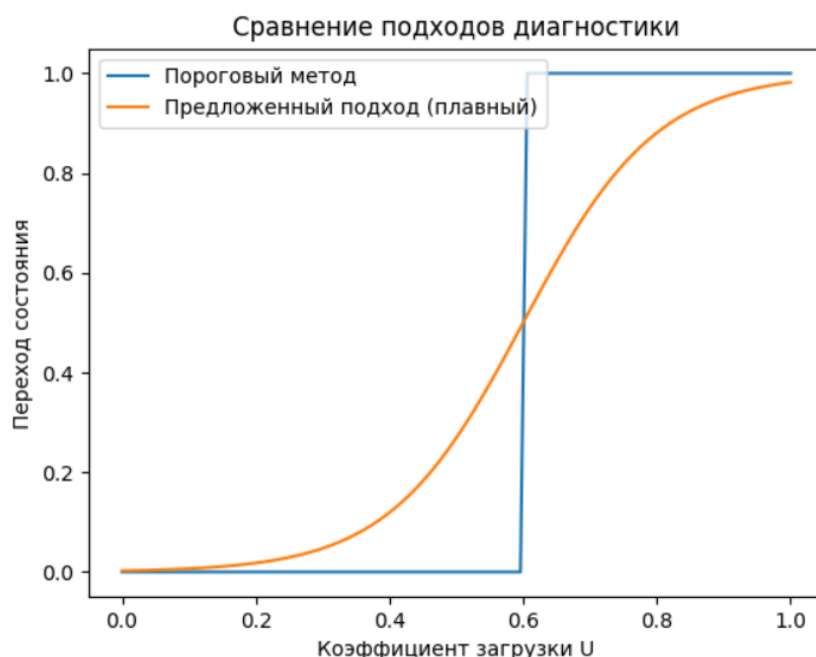


Рисунок 3 - Сравнение порогового и предложенного подходов по коэффициенту загрузки системы

Таблица 4 - Сравнение методов диагностики

Критерий	Пороговый метод	Предложенный подход
Учет неопределенности	отсутствует	учитывается
Гибкость принятия решений	низкая	высокая
Чувствительность к изменениям	резкая(скачкообразная)	плавная
Точность диагностики	зависит от порогов	стабильная
Возможность расширения	ограниченная	высокая
Интерпретируемость	высокая	высокая

Дополнительный анализ был выполнен для оценки влияния вычислительной погрешности на результат диагностики. Установлено, что увеличение значения Δ оказывает существенное влияние на устойчивость функционирования системы. В эксперименте №6 при значении погрешности 0.08 система определила состояние как нестабильное даже при отсутствии ошибок передачи данных. Это свидетельствует о том, что вычислительная погрешность может рассматриваться как показатель качества обработки информации и устойчивости работы отдельных вычислительных модулей [7]. Зависимость диагностического решения от изменения вычислительной погрешности представлена на рисунке 4.

Наиболее неблагоприятные режимы наблюдались при совместном увеличении коэффициента загрузки, времени обработки и наличии ошибок передачи данных. В экспериментах №7 и №8 система классифицировала состояние как критическое. В данных условиях происходит одновременное ухудшение нескольких диагностических параметров, что приводит к снижению устойчивости функционирования вычислительной среды и повышению вероятности отказов отдельных модулей [8]. Полученные результаты показывают, что наличие

ошибок существенно усиливает влияние остальных параметров и ускоряет переход системы в аварийный режим.

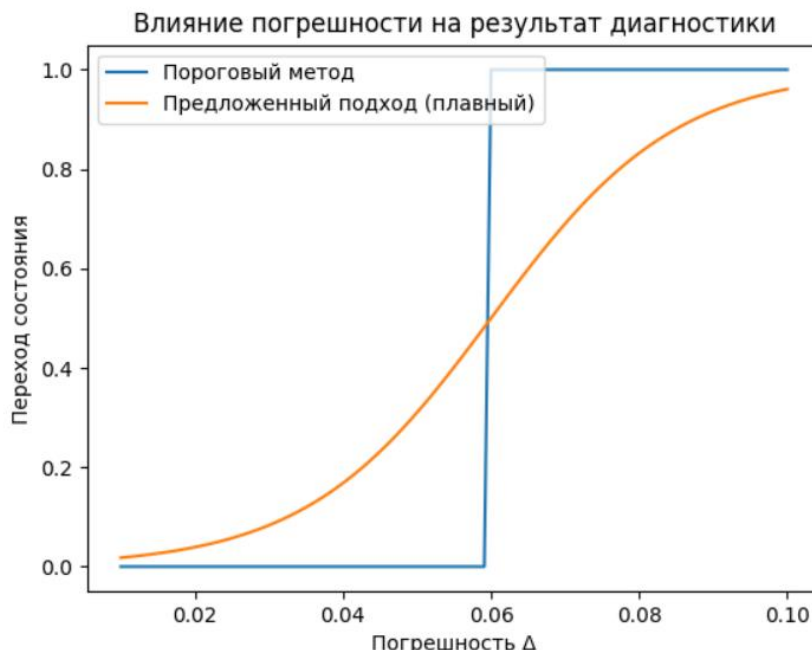


Рисунок 4 - Влияние вычислительной погрешности Δ на результат диагностики

Проведенный анализ показал, что применение продукционных правил совместно с элементами нечеткой логики позволяет учитывать неопределенность входных данных и особенности переходных режимов работы системы. В отличие от пороговых методов диагностическое решение формируется более устойчиво при изменении параметров вблизи граничных значений. Использование базы знаний обеспечивает интерпретируемость результатов диагностики и возможность дальнейшего расширения системы за счет добавления новых правил и диагностических признаков.

Заключение

В настоящей работе разработана интеллектуальная система диагностики состояния бортовой вычислительной системы, основанная на использовании продукционных правил и элементов нечеткой логики. Предложенный подход позволяет формализовать процесс анализа и установить связь между диагностическими параметрами и состояниями системы.

Выделение ключевых параметров (коэффициента загрузки, времени обработки, погрешности и наличия ошибок) послужило основой для построения процедуры диагностики. Представление знаний в виде продукционных правил позволило описать характерные режимы функционирования и задать соответствие между значениями параметров и диагностическими состояниями. Использование нечеткой логики обеспечивает переход от жесткого разделения состояний к более гибкой интерпретации результатов, что особенно важно при анализе систем с непрерывно изменяющимися параметрами. Реализованный алгоритм формирует диагностическое заключение при невысоких вычислительных затратах. Программная реализация подтверждает применимость разработанного решения и обеспечивает удобное взаимодействие пользователя с системой. Результаты моделирования показали согласованность принимаемых решений при изменении входных параметров. Установлено, что определяющее влияние оказывают коэффициент загрузки и время обработки, тогда как погрешность и наличие ошибок отражают переход системы в нестабильные и критические состояния. Сравнение с пороговыми методами выявило более устойчивое поведение системы,

особенно вблизи граничных значений, что позволяет повысить достоверность диагностики и снизить вероятность ложных переходов между состояниями.

Разработанное решение может быть использовано при создании интеллектуальных систем мониторинга и диагностики сложных технических объектов.

Список литературы

1. Kopetz H. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. 2nd ed. New York: Springer, 2011, 370 p. doi: 10.1007/978-1-4419-8237-7
2. Jackson P. Introduction to Expert Systems. 3rd ed. Harlow: Addison-Wesley, 2012, 560 p.
3. Giarratano J., Riley G. Expert Systems: Principles and Programming. 4th ed. Boston: Cengage Learning, 2015, 600 p.
4. Siler W., Buckley J.J. Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning. New York: Wiley, 2015, 425 p. doi: 10.1002/9781119028192
5. Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2016, 600 p. doi: 10.1002/9781119994374
6. Pedrycz W., Gomide F. Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing. New York: Wiley, 2017, 500 p. doi: 10.1002/9781119288411
8. Jiang W., Xie C., Zhuang M., Tang Y. Failure detection in complex systems based on fuzzy logic and data-driven models. // IEEE Access, 2019, V. 7, P. 113535–113546. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2935202
9. Zhao R., Yan R., Chen Z., Mao K., Wang P., Gao R.X. Deep learning and its applications to machine health monitoring. // Mechanical Systems and Signal Processing, 2019, V. 115, P. 213–237. doi: 10.1016/j.ymssp.2018.05.050

References

1. Kopetz H. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. 2nd ed. New York: Springer, 2011, 370 p. doi: 10.1007/978-1-4419-8237-7
2. Jackson P. Introduction to Expert Systems. 3rd ed. Harlow: Addison-Wesley, 2012, 560 p.
3. Giarratano J., Riley G. Expert Systems: Principles and Programming. 4th ed. Boston: Cengage Learning, 2015, 600 p.
4. Siler W., Buckley J.J. Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning. New York: Wiley, 2015, 425 p. doi: 10.1002/9781119028192
5. Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2016, 600 p. doi: 10.1002/9781119994374
6. Pedrycz W., Gomide F. Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing. New York: Wiley, 2017, 500 p. doi: 10.1002/9781119288411
10. Jiang W., Xie C., Zhuang M., Tang Y. Failure detection in complex systems based on fuzzy logic and data-driven models. // IEEE Access, 2019, V. 7, P. 113535–113546. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2935202
11. Zhao R., Yan R., Chen Z., Mao K., Wang P., Gao R.X. Deep learning and its applications to machine health monitoring. // Mechanical Systems and Signal Processing, 2019, V. 115, P. 213–237. doi: 10.1016/j.ymssp.2018.05.050

М.О. Балабекова*, М.С. Шәмші

*т.ғ.к., доцент, dadyiba@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
магистрант, medet.shamshi51@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

БОРТТЫҚ ЕСЕПТЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЖАҒДАЙЫН ДИАГНОСТИКАЛАУҒА АРНАЛҒАН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕ

Түйін

Мақалада өзгермелі жүктемелер және кіріс деректерінің белгісіздігі жағдайында борттық есептеу жүйесінің күйін диагностикалау мәселесі қарастырылады, оның мақсаты – қабылданатын шешімдердің сенімділігін арттыру. Осы міндетті шешу үшін продукциялық ережелер мен анық емес логика элементтерін пайдалануға негізделген интеллектуалды жүйе ұсынылған. Диагностикалық параметрлер ретінде жүктеме коэффициенті, ақпаратты өңдеу уақыты, қателік шамасы және ақаулардың болуы анықталып, солар негізінде білімдер базасы құрылып, жүйенің жұмыс режимдерін жіктеуге арналған логикалық қорытынды шығару механизмі жүзеге асырылған. Ұсынылған тәсілдің жаңалығы – продукциялық ережелер мен параметрлердің анық емес интерпретациясын үйлестіруінде, бұл жүйе күйлері арасындағы нақты емес шекараларды ескеруге мүмкіндік береді. Деректерді енгізу, талдау жүргізу және нәтижелерді визуализациялауды қамтамасыз ететін бағдарламалық жүзеге асыру әзірленді. Модельдеу нәтижелері алгоритмнің дұрыс жұмыс істейтінін, диагностикалық шешімдердің тұрақтылығын және жүйе күйлері арасындағы жалған ауысулар ықтималдығының төмендегенін көрсетті.

Кілттік сөздер: борттық есептеу жүйесі, күй диагностикасы, интеллектуалды жүйе, білімдер базасы, продукциялық ережелер, анық емес логика, логикалық қорытынды, бағдарламалық жүзеге асыру, параметрлерді талдау, жүйе тұрақтылығы.

M.O. Balabekova*, M.S. Shamshi

*Cand.Tech.Sci., Associate Professor, dadyiba@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
Master's Student, medet.shamshi51@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

INTELLIGENT SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF THE STATE OF AN ONBOARD COMPUTING SYSTEM

Abstract

The paper addresses the problem of diagnosing the state of an onboard computing system under conditions of varying loads and uncertainty in input data, with the aim of improving the reliability of decision-making. To solve this problem, an intelligent system based on production rules and elements of fuzzy logic is proposed. Diagnostic parameters are identified, including the load factor, information processing time, error magnitude, and the presence of faults. Based on these parameters, a knowledge base is formed and an inference mechanism is implemented to classify operating modes. The novelty of the proposed approach lies in the combination of production rules with fuzzy interpretation of parameters, which allows taking into account the blurred boundaries between system states. A software implementation has been developed that provides data input, analysis, and visualization of results. The simulation results demonstrate the correctness of the algorithm, the stability of diagnostic decisions, and a reduction in the probability of false transitions between system states.

Keywords: onboard computing system, state diagnostics, intelligent system, knowledge base, production rules, fuzzy logic, inference mechanism, software implementation, parameter analysis, system stability.

УДК 10.23.256

<https://doi.org/10.54251/2616-6429.2026.02.n12>

S.S. Beknazarova*, K.K. Beknazarova

Dsc, professor, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al- Khwarizmi,
Tashkent, Uzbekistan

Researcher, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al- Khwarizmi,
Tashkent, Uzbekistan

*Corresponding author: saida.beknazarova@gmail.com

PROCEDURAL TEXTURE SYNTHESIS IN 3D RECONSTRUCTION

Abstract

The article explores the advantages of procedural texture synthesis in 3D reconstruction of historical objects and creating high-quality textures in virtual environments. The main focus is on methods for creating unique and realistic textures using fractal and space curves, such as the Cantor set, Gilbert and Gosper curves. The core contribution of the work lies in the systematic application of fractal geometry and space-filling curves to texture generation. The methodology rigorously examines three fundamental mathematical constructs: the Cantor set for creating discontinuous and dust-like patterns, the Gilbert curve for locality-preserving 2D space traversal, and the Gosper curve for generating hexagonal and snowflake-like tiling structures. By parameterizing these curves and integrating them with fractal noise functions, the authors propose a hybrid algorithmic pipeline that synthesizes textures at runtime, allowing for infinite variation and seamless detail across different levels of zoom (detail-invariant synthesis).

Keywords:

procedural texture synthesis, Cantor set, Gilbert curve, Gosper curve, fractal technologies, 3D reconstruction, virtual environment, computer graphics

Introduction

In recent years, the increasing demand for digitizing historical objects and bringing them to life in virtual environments has brought computer graphics and visualization technologies to a new level. In particular, procedural texture synthesis, which automatically creates textures for surfaces based on mathematical rules, is helping to make 3D models of historical objects more realistic and creative. In this process, classic fractal structures and curves help to create realistic details[1].

There are two main methods for creating textures in the field of computer graphics: hand-made image textures and procedural textures based on mathematical rules. The first method is labor-intensive and often limited to repeating patterns. Procedural texture synthesis, on the other hand, allows for the automatic creation of complex patterns based on mathematical algorithms [2].

Elements of fractal geometry, including the Cantor set, Gilbert curve, and Gosper curve, are widely used to generate complex patterns that resemble natural structures. These curves, due to their self-repeating nature, create visual structures close to natural forms. Therefore, they are an effective tool for texture synthesis[3,4].

Also, fractal-based procedural textures can be generated in real time. This expands the possibilities of their use in 3D graphics, game engines, virtual museums and VR systems. In addition, during the reconstruction of historical objects, real texture data is often not enough. Using fractal algorithms, it is possible to artificially restore non-existent or damaged surfaces. As a result, procedural texture synthesis is becoming an important tool for preserving historical heritage, conducting scientific research and creating educational virtual environments [5].

3D reconstruction of historical objects is widely used in many fields, including archaeology, cultural heritage conservation, education and virtual tours. Traditional hand-created textures are time-

consuming and resource-intensive, and are limited to repetitive patterns. Therefore, procedural texture synthesis using mathematical structures such as Cantor sets, Gilbert and Gosper curves effectively creates high-quality, parametric, and visually complex patterns [6].

Today, digital reconstruction of historical objects is widely used in the fields of archaeology, cultural heritage preservation, and tourism. High-quality visual images are required for the creation of virtual museums, 3D tours, and digital archives. In this process, textures are one of the main elements that provide a realistic view of the object [7].

Traditional texture creation methods often require large image files and create the problem of repetitive patterns. Procedural texture synthesis, on the other hand, reduces memory consumption and provides flexible parametric control because it is based on mathematical formulas [8].

Using fractal structures, it is possible to create complex textures with a natural appearance. Fractal structures such as the Cantor set allow for surface segmentation, while Gosper and Gilbert curves allow for the generation of complex patterns. The methods also work effectively in real-time graphics systems. This allows them to be used in game engines, VR systems, and scientific visualization. Procedural textures also allow for the modeling of various historical materials - stone, brick, marble, or ancient wall patterns - by changing parameters. As a result, fractal-based texture synthesis is of significant scientific and practical importance in 3D reconstruction of historical objects [9,10].

This research aims to solve the following problems: identify texture generation methods based on fractal structures (Cantor set); increase visual subtlety and complexity using Gilbert and Gosper curves; evaluate the effectiveness of applying procedural textures to historical objects undergoing 3D reconstruction[1-3].

Literature review

In the field of computer graphics, much research has been done on procedural texture synthesis. Ebert et al. (2003) presented the theoretical foundations of procedural texture creation in their famous work "Texturing and Modeling: A Procedural Approach". The authors showed methods for creating complex visual patterns using fractal algorithms, noise functions, and mathematical models. This work is considered one of the fundamental sources in the field of procedural texture synthesis[1].

Lagae et al. (2010) studied the application of procedural textures in real-time graphics systems. Their research showed that high performance can be achieved using graphics processing units (GPUs). This work laid the foundation for the widespread use of procedural textures in real-time rendering and game engines [2,3].

Akenine-Möller, Haines, and Hoffman (2019) analyzed the role and importance of texture synthesis in modern real-time rendering technologies. The authors have shown the role of fractal structures, space-filling curves, and shader technologies in graphics systems. These studies serve as an important theoretical basis for the development of texture generation algorithms based on fractal curves [4,5].

Methodology

The research methodology was developed by combining fractal geometry, procedural texture synthesis, and computer graphics algorithms. At the first stage, the mathematical properties of the Cantor set, Gilbert, and Gosper curves were studied and their application in texture generation was analyzed. The Cantor set was used as an iterative fractal algorithm to segment surfaces and create the basic structure of the texture structure. In this method, the initial line or the central part of the surface is divided according to certain rules, and new fractal segments are generated in each iteration. As a result, complex, self-repeating fractal patterns appear on the surface. This mathematical model acts as the main skeleton for the texture structure. In the second stage, the space-filling curves Gilbert and Gosper curves were used. These curves have the property of continuously covering two-dimensional space, allowing for a smooth and orderly arrangement of texture elements. Using the Gilbert curve algorithm, pixel coordinates were generated sequentially, covering the entire surface. The Gosper

curve was used to create complex fractal patterns and give a natural look to the texture layers. These algorithms were modeled based on the L-system and iteration rules. The resulting curves were used as a coordinate map when generating texture elements. In the third stage, the developed fractal algorithms were implemented in a graphics programming environment. Shader technologies were used to make the texture generation process work in real time, in particular, procedural textures were created using GLSL fragment shaders. During the testing process, the created textures were applied to various 3D models - walls of historical buildings, stone surfaces and architectural elements. The results were evaluated in terms of visual quality, level of complexity and computational efficiency. The results showed that fractal-based procedural textures require less memory than traditional bitmap textures and provide a high level of flexibility.

Many well-known fractals are considered close to the Cantor set, so the fractal properties of the Cantor set are of great importance. The construction of the Cantor set begins with the removal of the middle part from the unit cut, while the ends of the cut are not included. That is, the cut $[0,1]$ is the initial set, and the first step is to delete the open interval $(1/3, 2/3)$. In the next and all subsequent steps, the middle part is removed from all cuts (excluding the ends) of the current step. In this order, we obtain the Cantor set with a sequence size $d \approx 0.9542$ [11,12].

The Cantor set of size $d = 1$. It is possible to construct a Cantor set of size $d=1$ by moving from a straight line to a plane. The next example belongs to Magdi Muhammad. The initial set consists of a single square and we assume that the vertices are $(0,0)$, $(1,0)$, $(1,1)$ and $(0,1)$. At each step we generate squares that are four times smaller than the previous square. The limit set of this construction is a self-similar set with $N = 4$ and a similarity coefficient of $r = \frac{1}{4}$. Its size

$$d = \frac{\log(4)}{\log(4)} = 1$$

As can be seen from the constructions, the resulting set is a Kantor set, compact, perfect, and completely continuous.

$$\omega_0(a, x, y) = \frac{a^2 - x^2}{2a} \wedge_0 \frac{a^2 - y^2}{2a} \geq 0. \quad (1)$$

$d=1$ Based on the condition of the dimensional Kontor set, that is, we construct an iterative process, and as a result we obtain the following [6-8].

$$\begin{aligned} \omega_n(a, x, y) &= \omega_{n-1} \left(\frac{a}{4}, x - \frac{3a}{4}, y - \frac{a}{4} \right) \vee_0 \\ &\vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{a}{4}, x - \frac{a}{4}, y - \frac{3a}{4} \right) \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{a}{4}, x + \frac{3a}{4}, y + \frac{a}{4} \right) \vee_0 \\ &\vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{a}{4}, x + \frac{a}{4}, y + \frac{3a}{4} \right) \vee_0 (x(a^2 - x^2) = 0 \wedge_0 (a^2 - y^2) \geq 0) \vee_0 \\ &\vee_0 (y(a^2 - y^2) = 0 \wedge_0 (a^2 - x^2) \geq 0), \quad n = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Gilbert curve ω_0 - empty set.

ω_0 we get the following as:

$$(\omega_0(x, y) = (-1 - x^2) \geq 0). \quad (3)$$

Now, to control the order of Gilbert curves, we need the following formulas: [7]:

$$\begin{cases} m_0 = 0 \\ m_n = 2m_{n-1} + a. \end{cases} \quad (4)$$

Here m_n - n - size of the ordered Gilbert line (a - unit of measure).

$$f_1(x, y) = ((y = 0) \wedge_0 (x - m_{n-1}) \wedge_0 (m_{n-1} + a - x)) \geq 0;$$

(lower connecting line)

$$f_2(x, y) = ((x - m_{n-1} = 0) \wedge_0 (y - m_{n-1}) \wedge_0 (m_{n-1} + a - y)) \geq 0;$$

(left connecting line)

$$f_3(x, y) = ((y - 2m_{n-1} - a = 0) \wedge_0 (x - m_{n-1}) \wedge_0 (m_{n-1} + a - x)) \geq 0.$$

(top connecting line).

Based on the recursive algorithm, we get: $\omega_n(x, y) = \omega_{n-1}(x, y) \vee_0 f_1(x, y) \vee_0 \omega_{n-1}(m_{n-1} - y, x - m_{n-1} - a) \vee_0$

$$\vee_0 f_2(x, y) \vee_0 \omega_{n-1}(x, y - m_{n-1} - a) \vee_0 f_3(x, y) \vee_0 \vee_0 \omega_{n-1}(y - m_{n-1} - a, x - m_{n-1} - a), n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

The Gosper curve is relatively similar to the Serpin curve, except that the angles of the Gosper curve are tilted relative to the axes OX and OY: $\omega_1(a, x, y) = \left(\frac{a^2}{4} - \left(x - \frac{a}{2}\right)^2\right) \wedge_0 (a_{11}^2 - y^2) \geq 0$.

(6)

Here a_{11} - a sufficiently small number (the thickness of the line).

Now we calculate the value of the angle of deviation in the axis system relative to the fixed coordinate system and apply the translation and rotation formulas here. $\varphi = \arctan\left(\frac{\sqrt{3}}{5}\right)$, $a_{ky} = \frac{a}{\sqrt{7}}$, $a_{mv} = a_{ky} \frac{\sqrt{3}}{2}$.

$$x_{ky} = x \cos(\varphi) + y \sin(\varphi); y_{ky} = -x \sin(\varphi) + y \cos(\varphi) + a_{mv}.$$

(7)

Now, using recursion, we get: $\omega_n(a, x, y) = \omega_{n-1}(a_{ky}, x_{ky}, y_{ky} - a_{mv}) \vee_0$

$$\begin{aligned} & \vee_0 \omega_{n-1}\left(a_{ky}, \left(x_{ky} - \frac{3a_{ky}}{2}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) + y_{ky} \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right), \right. \\ & \left. - \left(x_{ky} - \frac{3a_{ky}}{2}\right) \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) + y_{ky} \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right)\right) \vee_0 \omega_{n-1}\left(a_{ky}, x_{ky} - \frac{a_{ky}}{2}, y_{ky}\right) \vee_0 \\ & \vee_0 \omega_{n-1}\left(a_{ky}, \left(x_{ky} - \frac{a_{ky}}{2}\right) \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) + y_{ky} \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right), \right. \\ & \left. - \left(x_{ky} - \frac{a_{ky}}{2}\right) \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) + y_{ky} \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right)\right) \vee_0 \omega_{n-1}(a_{ky}, x_{ky}, y_{ky} + a_{mv}) \vee_0 \\ & \vee_0 \omega_{n-1}(a_{ky}, x_{ky} - a_{ky}, y_{ky} + a_{mv}) \vee_0 \\ & \vee_0 \omega_{n-1}\left(a_{ky}, \left(x_{ky} - \frac{5a_{ky}}{2}\right) \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) + y_{ky} \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right), \right. \\ & \left. - \left(x_{ky} - \frac{5a_{ky}}{2}\right) \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) + y_{ky} \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right)\right), n = 2, 3, 4, \dots \quad (8) \end{aligned}$$

Fractals consisting of circles. Currently, there are several methods for constructing fractal equations: the method of L-systems, the method of iterative function systems, etc. The design environment of the R-function algebra logic method, which is different from them, makes it possible to construct fractal equations. Then, based on these equations, a visual representation of fractals can be constructed. So, below, the construction of fractal equations consisting of circles based on the RFM method of V.L. Rvachev is considered. The equation of the outer circle is defined as follows: $\omega_{00} = \omega_{00}(R, x, y) = (R^2 - x^2 - y^2 \geq 0)$,

The equation of a circle bounded by a circle takes the following form: $\omega_0 = \omega_{00} \wedge_0 (x^2 + y^2 - (R - a)^2 \geq 0)$,

here a - thickness of the circle (thickness of the circle $2a$), R - radius of the outer circle, $\alpha = \frac{2\pi}{k}$; k - number of inner loops after each iteration $k=2, 3, 4, \dots$

Here, using iteration, we get: $\omega_n(R, x, y) = \omega_0(R, x, y) \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x, y\right) \vee_0$

$$\begin{aligned} & \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3} \cos(0), y - \frac{2R}{3} \sin(0)\right) \vee_0 \\ & \vee_0 \omega_{n-1}\left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3} \cos(\alpha), y - \frac{2R}{3} \sin(\alpha)\right) \vee_0 \end{aligned}$$

$$\vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3} \cos(2\alpha), y - \frac{2R}{3} \sin(2\alpha) \right) \vee_0 \dots \vee_0 \\ \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{3}, x - \frac{2R}{3} \cos((k-1)\alpha), y - \frac{2R}{3} \sin((k-1)\alpha) \right) \geq 0; n = 1, 2, 3, \dots (9)$$

Now let's look at the case of $k=6$. In this case, we get exclusive ring fractals.

It can be shown that if the inner circles do not collide with each other at $k < 6$, the inner circles collide at $k=6$, and the inner circles intersect at $k > 6$. Now let's consider the case where there are two circles inside a large circle. These circles are intersected. In turn, two more circles are formed in the inner circles, etc. We construct the equation of the same fractal [9]. In this case, the equation of the fractal in step 1 takes the following form $\omega(R, x, y) = (R^2 - x^2 - y^2 \geq 0) \wedge_0 (x^2 + y^2 - (R - a)^2 \geq 0)$. (10)

Trivial intersecting circle fractals. After applying the iteration procedure, we obtain the following $\omega_1(R, x, y) = \omega_0(R, x, y) \vee_0 \omega_0 \left(\frac{R}{2}, x, y - \frac{R}{2} \right) \vee_0 \omega_0 \left(\frac{R}{2}, x, y + \frac{R}{2} \right) \geq 0$,

$$\omega_2(R, x, y) = \omega_0(R, x, y) \vee_0 \omega_1 \left(\frac{R}{2}, x, y - \frac{R}{2} \right) \vee_0 \omega_1 \left(\frac{R}{2}, x, y + \frac{R}{2} \right) \geq 0,$$

...

$$\omega_n(R, x, y) = \omega_0(R, x, y) \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{2}, x, y - \frac{R}{2} \right) \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{2}, x, y + \frac{R}{2} \right) \geq 0; n = 1, 2, 3$$

(11)

Now we consider the case where the inner circles intersect and decrease. For this purpose, we introduce a decreasing coefficient λ . We determine the equation of the intersecting circles as in the first problem $\omega_0(R, x, y) = (R^2 - x^2 - y^2 \geq 0) \wedge_0 (x^2 + y^2 - (R - a)^2 \geq 0)$,

$$\alpha = \frac{2\pi}{k};$$

k - number of inner loops after each iteration $k=2, 3, 4, \dots$

l - the coefficient of reduction of the inner circles after each iteration, $l=2, 3, 4, \dots$

R - the radius of the outer circle.

Using the iteration procedure, we can obtain the following [6].

$$\omega_n(R, x, y) = \omega_0(R, x, y) \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{l}, x, y \right) \\ \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{l}, x - \frac{(l-1)R}{l} \cos(0), y - \frac{(l-1)R}{l} \sin(0) \right) \vee_0 \\ \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{l}, x - \frac{(l-1)R}{l} \cos(\alpha), y - \frac{(l-1)R}{l} \sin(\alpha) \right) \vee_0 \\ \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{l}, x - \frac{(l-1)R}{l} \cos(2\alpha), y - \frac{(l-1)R}{l} \sin(2\alpha) \right) \vee_0 \dots \vee_0 \\ \vee_0 \omega_{n-1} \left(\frac{R}{l}, x - \frac{(l-1)R}{l} \cos((k-1)\alpha), y - \frac{(l-1)R}{l} \sin((k-1)\alpha) \right) \geq 0; n = 1, 2, 3, \dots (12)$$

Let's look at constructing a tree equation from circles. The ends of the interval (x_1, y_1) va (x_2, y_2) be points. Given points (x_1, y_1) and (x_2, y_2) construct the equation of a straight line passing freely through [10].

$$f(x_1, y_1, x_2, y_2, x, y) = \left(\frac{1}{2}(x_2 - x_1) \right) \cos \left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right) + \\ + (y_2 - y_1) \sin \left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right) - ((x - x_1) \cos \left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right) + \\ + (y - y_1) \sin \left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right) - \left(\frac{1}{2}(x_2 - x_1) \cos \left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right) + \right.$$

$$+(y_2 - y_1) \sin \left(\left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right)^2 \geq 0 \right) \wedge_0 (a^2 -$$

$$- \left(-(x - x_1) \sin \left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right) \right) + (y - y_1) \cos \left(\arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right)^2 \geq 0)$$

here a - height of the gap (height of the gap $2a$).

If k if it is even, then $\varphi_0 = 0$, else $\varphi_0 = \frac{\alpha}{2}$.

$n=1$ we have the following equation : $\alpha = \frac{2\pi}{k}$

$$\omega_1(x, y) = f(0, 0, R \cos(\varphi_0 + 0), R \sin(\varphi_0 + 0), x, y) \vee_0$$

$$\vee_0 f(0, 0, R \cos(\varphi_0 + \alpha), R \sin(\varphi_0 + \alpha), x, y) \vee_0$$

$$\vee_0 f(0, 0, R \cos(\varphi_0 + 2\alpha), R \sin(\varphi_0 + 2\alpha), x, y) \vee_0 \dots \vee_0$$

$$\vee_0 f(0, 0, R \cos(\varphi_0 + (k-1)\alpha), R \sin(\varphi_0 + (k-1)\alpha), x, y)$$

$n=2, 3, 4 \dots$ da

$$\alpha = \frac{2\pi}{k^{n-1}}; k_1 = - \left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor; R_{n-1} = 2R \left(1 - \frac{1}{2^{n-1}} \right); R_n = 2R \left(1 - \frac{1}{2^n} \right);$$

R_n - n - radius of the circular boundaries in iteration ($R_l = R$).

if k is even, then $k_2 = \left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor$, aks holda $k_2 = \left\lfloor \frac{k}{2} \right\rfloor - 1$.

$[x]$ - x the whole number.

Using the iteration procedure, we get: $\omega_{nx1}(x, y) = f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + \alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + \alpha),$

$$R_n \cos \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + k_1 \alpha)}{k} \right), R_n \sin \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + k_1 \alpha)}{k} \right), x, y) \vee_0$$

$$\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + \alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + \alpha),$$

$$R_n \cos \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 1) \alpha)}{k} \right), R_n \sin \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 1) \alpha)}{k} \right), x, y) \vee_0$$

$$\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + \alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + \alpha),$$

$$R_n \cos \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 2) \alpha)}{k} \right), R_n \sin \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 2) \alpha)}{k} \right), x, y) \vee_0 \dots \vee_0$$

$$\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + \alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + \alpha),$$

$$R_n \cos \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_2) \alpha)}{k} \right), R_n \sin \left(\varphi_0 + \alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_2) \alpha)}{k} \right), x, y)$$

$$\omega_{nx2}(x, y) = f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + 2\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + 2\alpha),$$

$$R_n \cos \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_1 \alpha)}{k} \right), R_n \sin \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_1 \alpha)}{k} \right), x, y) \vee_0$$

$$\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + 2\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + 2\alpha), R_n \cos \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 1) \alpha)}{k} \right),$$

$$R_n \sin \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 1) \alpha)}{k} \right), x, y) \vee_0$$

$$\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + 2\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + 2\alpha), R_n \cos \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 2) \alpha)}{k} \right),$$

$$R_n \sin \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 2) \alpha)}{k} \right), x, y) \vee_0 \dots \vee_0$$

$$\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + 2\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + 2\alpha), R_n \cos \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_2 \alpha)}{k} \right) R_n \sin \left(\varphi_0 + 2\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_2 \alpha)}{k} \right), x, y) \quad (13)$$

$1 \leq i \leq k^{n-1}$ for we have the following:

$$\begin{aligned} \omega_{nxi}(x, y) &= f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + i\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + i\alpha), \\ &R_n \cos\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_1\alpha)}{k}\right), R_n \sin\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_1\alpha)}{k}\right), x, y) \vee_0 \\ &\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + i\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + i\alpha), R_n \cos\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 1)\alpha)}{k}\right), \\ &R_n \sin\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 1)\alpha)}{k}\right), x, y) \vee_0 \\ &\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + i\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + i\alpha), R_n \cos\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 2)\alpha)}{k}\right), \\ &R_n \sin\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + (k_1 + 2)\alpha)}{k}\right), x, y) \vee_0 \dots \vee_0 \\ &\vee_0 f(R_{n-1} \cos(\varphi_0 + i\alpha), R_{n-1} \sin(\varphi_0 + i\alpha), R_n \cos\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_2\alpha)}{k}\right), \\ &R_n \sin\left(\varphi_0 + i\alpha + \frac{(\varphi_0 + k_2\alpha)}{k}\right), x, y) \\ \omega_n(x, y) &= \omega_{n-1}(x, y) \vee_0 \omega_{nxi}(x, y) \vee_0 \omega_{nx2}(x, y) \vee_0 \dots \\ &\vee_0 \omega_{nxi}(x, y) \vee_0 \dots \vee_0 \omega_{nxi}(x, y). \end{aligned} \quad (14)$$

In the previous formulas $k=2, 3, 4, 5, \dots$

Pythagorean tree. Pythagoras, proving his theorem, constructed a figure in which squares were placed on the sides of right triangles. If this process is continued, a Pythagorean tree is formed. Using quadratic equations, we construct the equation of the tree, that is

$$\begin{aligned} \omega_0(a, x, y) &= \left((a^2 - x^2 \geq 0) \wedge_0 ((b^2 - (y - a)^2 \geq 0) \vee_0 (b^2 - (y + a)^2 \geq 0)) \right) \vee_0 \\ &\vee_0 \left((a^2 - y^2 \geq 0) \wedge_0 ((b^2 - (x - a)^2 \geq 0) \vee_0 (b^2 - (x + a)^2 \geq 0)) \right) \geq 0 \end{aligned}$$

Here $\omega_0(a, x, y)$ - side $2a$ and a square whose thickness is $2b$.

Using the recursion procedure, we obtain the following [6]: $\omega_n(a, x, y) =$

$$\begin{aligned} \omega_0(a, x, y) \vee_0 \omega_{n-1}(a \cos(\alpha), (x + a - a\sqrt{2} \cos(\alpha) \sin\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \cos(\alpha) + \\ + (y - a - a\sqrt{2} \cos(\alpha) \cos\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \sin(\alpha), - (x + a - a\sqrt{2} \cos(\alpha) \sin\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \sin(\alpha) + \\ + (y - a - a\sqrt{2} \cos(\alpha) \cos\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \cos(\alpha)) \vee_0 \omega_{n-1}(a \sin(\alpha), \\ - (x - a - a\sqrt{2} \sin(\alpha) \sin\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \sin(\alpha) + (y - a - a\sqrt{2} \sin(\alpha) \cos\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \cos(\alpha), \\ (x - a - a\sqrt{2} \sin(\alpha) \sin\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \cos(\alpha) + (y - a - a\sqrt{2} \sin(\alpha) \cos\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right)) \sin(\alpha)) \end{aligned} \quad (15)$$

here α - The angle of the tree branch when it turns to the left

$0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ takes a value in the interval, the angle of rotation when turning to the right $\frac{\pi}{2} - \alpha$ is equal to

Results and discussion

The Cantor set is a classical fractal, which is generated through an iterative segmentation process. The initial segment $[0, 1]$ is taken and the middle third of it is removed at each iteration:

$C_0 = [0, 1]$ $C_{n+1} = \frac{1}{3}C_n \cup \frac{2}{3} + \frac{1}{3}C_n$, bunda C_n - n- Cantor set in iteration; Number of segments per iteration 2^n .

Fractal pattern $D = \frac{\log(2)}{\log(3)} \approx 0.6309$. In texture synthesis, the Cantor set is used to: segment a surface; create a pattern structure; and generate texture layers.

A Gilbert curve is a space-filling curve that covers a continuous 2D space. The coordinate recursive representation is: $G(n) = G(n-1) \cup \{R * G(n-1)_{rev} + \vec{v}\}$. This curve has the following properties: it covers all pixels, preserves local proximity, and optimizes the pixel order during texture generation. Therefore, the Gilbert curve is used to determine the sequence of texture pixel generation.

The Gosper curve is generated by a fractal L-system. Initial rules: A, B . Production rules: $A \rightarrow A-B-B+A++AA+B-$

$B \rightarrow +A-BB--B-A++A+B,$

"+" — 60° turn left;

"-" — 60° turn right.

As the iteration increases, the curve becomes more complex. In texture synthesis, the Gosper curve is used to create: a complex fractal pattern; a natural look; and multi-layered textures.

The extension of fractal lines to a 2D texture is done as follows. If the coordinates of the curve are: $P = (x_i, y_i)$, If so, the texture value is: $T(x, y) = f(x, y) + \alpha F(x, y)$, in this $f(x, y)$ – basic texture, $F(x, y)$ – fractal pattern; α – intensity parameter. In 3D space: $T(x, y, z) = f(x, y, z) + \beta F(x, y, z)$, This allows you to generate material textures such as stone, wood, and marble.

A fractal texture consists of several layers.: $T = T_1 + \omega_2 T_2 + \omega_3 T_3$, in this T_1 - basic texture, T_2 - fractal pattern, T_3 - noise.

Texture generation works based on the following algorithm: determining the texture size; generating a fractal curve; calculating the curve coordinates; calculating the texture value for each coordinate; generating pixel color; layering the texture; creating the final texture image, Figure 1.

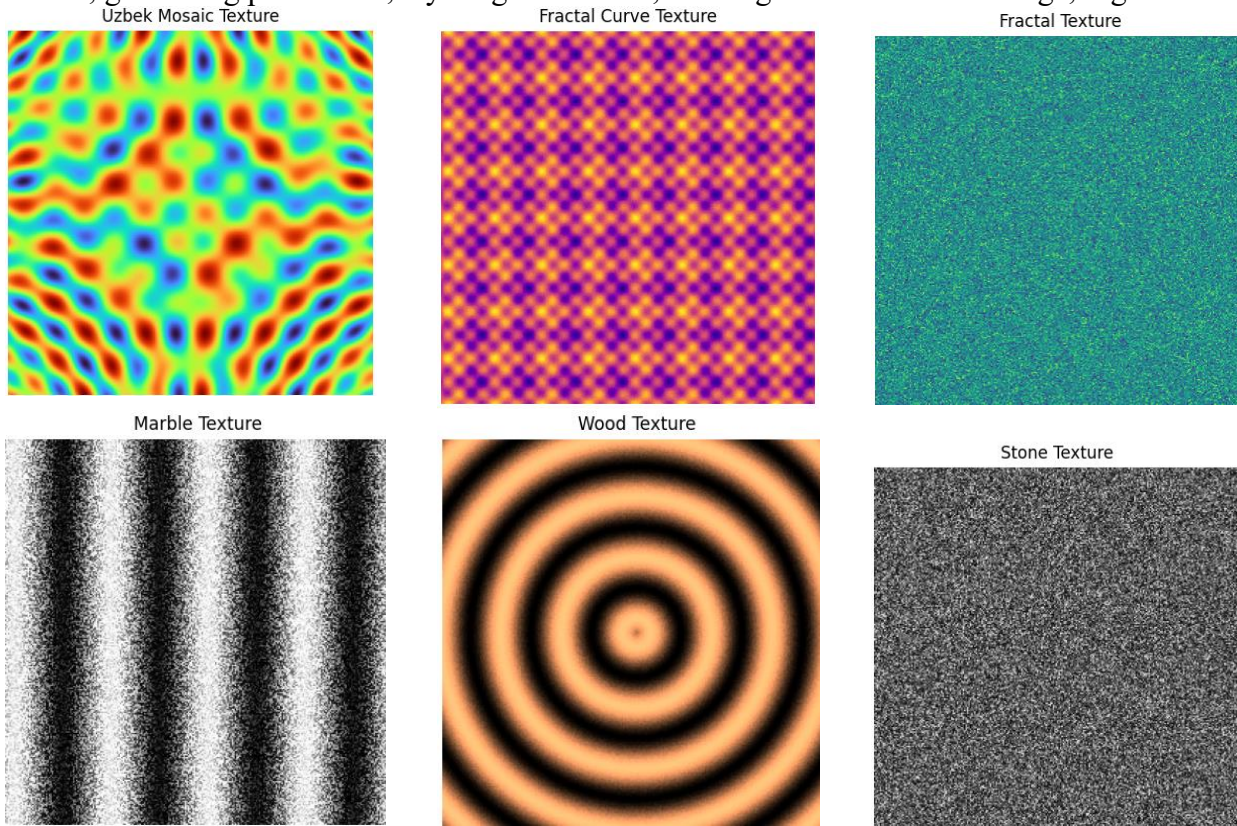


Figure 1. Texture generation results

The results of the study showed that fractal-based textures provide a high level of complexity

and naturalness. The Cantor set was effective in segmenting surfaces and creating the structural basis of patterns. Complex patterns were generated on surfaces using Gilbert and Gosper curves. Since these curves have a space-filling property, the texture elements are arranged smoothly and continuously. Procedural textures were found to reduce memory consumption and provide flexible control through parameters.

Conclusion

According to the results of the study, procedural texture synthesis based on the Cantor set and Gilbert and Gosper curves is an effective tool for 3D reconstruction of historical objects. The possibilities of using procedural texture synthesis methods based on the Cantor set and Gilbert and Gosper curves in 3D reconstruction of historical objects were studied. The results of the study showed that it is possible to create complex, non-repeating and realistic-looking textures on surfaces using fractal geometry elements. The Cantor set played an important role in forming the fractal segmentation of the texture structure, and the Gilbert and Gosper curves allowed generating patterns that cover surfaces continuously. The methodology developed during the study demonstrated the effectiveness of procedural texture synthesis. It was found that textures created based on fractal algorithms are much more economical in terms of memory consumption than traditional image textures. In addition, the possibility of parametric control made it easier to model the surfaces of various historical materials. This allows for a more accurate and aesthetically perfect depiction of historical objects in a virtual environment.

The results of the study showed that procedural texture synthesis works effectively even in real-time graphics systems. It was found that it is possible to dynamically generate textures using shader technologies. This expands the prospects for using this method in virtual reality, augmented reality, and interactive visualization systems. This approach allows for the automatic restoration of damaged or lost texture parts of historical objects. At the same time, it is also possible to significantly optimize the process of processing large volumes of 3D cultural heritage data. In addition, the integration of textures created based on fractal algorithms with various graphics engines (Unity, Unreal Engine) is also a promising direction. This will expand the possibilities of creating high-quality visual models in virtual museums, educational platforms, and digital cultural heritage projects. As a result, procedural texture synthesis can become one of the important technological tools for the digital preservation of historical objects and their presentation to the general public.

References

1. Ebert, D. S., Musgrave, F., Peachey, D., Perlin, K., & Worley, S. (2003). Texturing and modeling: A procedural approach. Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/B978-155860848-1/50002-3>
2. Lagae, A., Lefebvre, S., Drettakis, G., & Dutré, P. (2010). Procedural noise using sparse Gabor convolution. ACM Transactions on Graphics, 29(4). <https://doi.org/10.1145/1778765.1778803>
3. Akenine-Möller, T., Haines, E., & Hoffman, N. (2019). Real-Time Rendering (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315368934>
4. Shirley, P., & Marschner, S. (2015). Fundamentals of Computer Graphics. CRC Press.
5. Musgrave, F. K. (2012). Fractal terrains and procedural textures. Computer Graphics and Applications.
6. Cook, R. L. (2005). Stochastic sampling in computer graphics. ACM Transactions on Graphics.
7. Mandelbrot, B. (2004). Fractal geometry of nature. W. H. Freeman.
8. Peitgen, H. O., Jürgens, H., & Saupe, D. (2006). Chaos and fractals. Springer.
9. Lefebvre, S., & Hoppe, H. (2006). Appearance-space texture synthesis. ACM Transactions on Graphics.
10. Smelik, R., Tutenel, T., Bidarra, R., & Benes, B. (2014). Procedural generation of terrains for games. ACM Transactions on Multimedia Computing.

11. Beknazarova, S., Abdullayev, S., Abdullayeva, O., & Abdullayev, Z. (2024). Machine learning method for predicting human movements. AIP Conference Proceedings, 3244, 030036. <https://doi.org/10.1063/5.0242100>
12. Beknazarova, S., Abdullayeva, O., Abdullayev, S., & Abdullayev, Z. (2024). Image processing: Face recognition by neural networks. E3S Web of Conferences, 587, 01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458701010>

С. С. Бекназарова*, К. К. Бекназарова

*т.ғ.д., профессор, saida.beknazarova@gmail.com, Мұхаммед әл-Хорезми атындағы Ташкент Ақпараттық технологиялар университеті, Ташкент, Өзбекстан
зерттеуші, k.beknazarova@gmail.com, Мұхаммед әл-Хорезми атындағы Ташкент Ақпараттық технологиялар университеті, Ташкент, Өзбекстан

3D ҚАЙТА ҚҰРУДАҒЫ ТЕКСТУРАЛАРДЫҢ ПРОЦЕДУРАЛЫҚ СИНТЕЗІ

Түйін

Мақалада тарихи нысандарды 3D қайта құруда және виртуалды ортада жоғары сапалы текстураларды жасауда процедуралық текстураны синтездеудің артықшылықтары қарастырылады. Кантор жиынтығы, Гильберт және Госпер қисықтары сияқты фракталдық және кеңістіктік қисықтарды қолдана отырып, бірегей және шынайы текстураларды құру әдістеріне назар аударылады. Бұл жұмыстың негізгі үлесі текстураларды жасау үшін фракталдық геометрияны және кеңістікті толтыратын қисықтарды жүйелі түрде қолдану болып табылады. Әдістеме үш негізгі математикалық құрылымды мұқият зерттейді: үзік-үзік және шаң тәрізді үлгілерді жасауға арналған Кантор жинағы, локализацияны сақтай отырып, екі өлшемді кеңістікте қозғалуға арналған Гильберт қисығы және алтыбұрышты құрылымдар мен қар ұшқынына ұқсас құрылымдарды жасауға арналған Госпер қисығы. Бұл қисықтарды параметрлеу және оларды фракталдық Шу функцияларымен біріктіру арқылы авторлар жұмыс уақытында текстураларды синтездейтін гибриді алгоритмдік құбырды ұсынады, бұл әртүрлі масштабтау деңгейлерінде шексіз әртүрлілік пен мінсіз бөлшектерді қамтамасыз етеді (бөлшектерге тәуелсіз синтез).

Кілттік сөздер: Текстураның процедуралық синтезі, кантор жиынтығы, Гильберт қисығы, Госпер қисығы, фракталдық технология, 3D қайта құру, виртуалды орта, компьютерлік графика

С.С. Бекназарова*, К.К. Бекназарова

*д.т.н., профессор, saida.beknazarova@gmail.com, Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Аль-Хорезми, Ташкент, Узбекистан
исследователь, k.beknazarova@gmail.com, Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Аль-Хорезми, Ташкент, Узбекистан

ПРОЦЕДУРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕКСТУР В 3D-РЕКОНСТРУКЦИИ

Аннотация

В статье рассматриваются преимущества процедурного синтеза текстур при 3D-реконструкции исторических объектов и создании высококачественных текстур в виртуальных средах. Основное внимание уделяется методам создания уникальных и реалистичных текстур с использованием фрактальных и пространственных кривых, таких как набор Кантора, кривые Гильберта и Госпера. Основной вклад этой работы заключается в систематическом применении фрактальной геометрии и кривых, заполняющих пространство, для создания текстур. В методологии тщательно изучаются три фундаментальные математические конструкции: набор Кантора для создания прерывистых и пылевидных узоров, кривая Гильберта для перемещения по двумерному пространству с сохранением локальности и кривая Госпера для создания шестиугольных структур и структур, похожих на снежинки. Параметризуя эти кривые и интегрируя их с функциями фрактального шума,

авторы предлагают гибридный алгоритмический конвейер, который синтезирует текстуры во время выполнения, обеспечивая бесконечное разнообразие и безупречную детализацию на разных уровнях масштабирования (синтез, не зависящий от деталей).

Ключевые слова: процедурный синтез текстур, множество Кантора, кривая Гильберта, кривая Госпера, фрактальные технологии, 3D-реконструкция, виртуальная среда, компьютерная графика

Zh.D. Iztayev, A.E. Timurbekov, B.E. Aidaulet*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Master's student, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Master of Science, Lecturer, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

*Corresponding author's email: bekarys.aidaulet@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE AND HARDWARE PLATFORMS FOR DIGITAL TWINS AND SIMULATION SYSTEMS IN ROBOTICS EDUCATION

Abstract

This article presents a comparative analysis of the architectural and technical characteristics of software and hardware platforms for digital twins and simulation systems used in robotics education. In this study, a three-layer robotic information system architecture was modeled, consisting of a hardware layer (microcontrollers, sensors, and actuators), a communication layer (MQTT, WebSockets, and OPC UA protocols), and a virtual simulation layer (Webots, Gazebo, Unity 3D, NVIDIA Isaac Sim, Tinkercad, and Wokwi). Technical evaluation metrics included data synchronization latency, physics engine fidelity, Hardware-in-the-Loop (HIL) support, computational resource requirements, and telemetry data acquisition capabilities. The results demonstrate that professional simulators provide high-accuracy physical modeling but possess limited hardware integration and telemetry analytics capabilities. In contrast, digital twin platforms based on Unity 3D and NVIDIA Isaac Sim support bidirectional real-time synchronization, IoT integration, and interaction with SQL/NoSQL databases, making them effective architectural solutions for robotic information systems.

Keywords: Digital Twin, robotics, simulation systems, MQTT, Unity 3D, NVIDIA Isaac Sim, Gazebo, Webots, IoT, information systems.

Introduction

The global economy and manufacturing sectors are currently undergoing a paradigm shift toward the Fourth Industrial Revolution, widely recognized as Industry 4.0. This technological transition demands highly qualified engineering personnel capable of developing, managing, and maintaining automated systems, the Industrial Internet of Things (IIoT), and complex robotic architectures. In this technological landscape, technical and vocational education training (TVET) institutions, including colleges, play a critical role as the primary suppliers of technical professionals who must be both adaptable to rapidly evolving market demands and equipped with rigorous practical competencies [1].

However, a significant challenge arises as instruction in contemporary robotics typically necessitates advanced, capital-intensive hardware, such as industrial manipulators, multi-sensor stations, and high-precision actuators. Maintaining up-to-date physical laboratory equipment in educational institutions introduces severe financial and logistical constraints. A viable mitigation strategy for these constraints involves the strategic digital transformation of the educational infrastructure. Specifically, virtual simulation systems and digital twin technologies offer a sophisticated, cost-effective solution while simultaneously enhancing students' cognitive engagement and hands-on comprehension [2].

From an information technology perspective, digital twins extend substantially beyond basic three-dimensional graphics. They constitute integrated, cyber-physical software and hardware infrastructures capable of bidirectional, real-time data exchange with a physical counterpart, thereby accurately mirroring its mathematical models and empirical behavioral characteristics. To foster students' professional aptitude in software engineering, embedded circuit design, and system integration, it is crucial to deploy digital platforms that closely simulate authentic industrial

production environments and provide direct interactive feedback loops [3].

Currently, both the commercial software market and the educational sector offer a wide spectrum of options, ranging from professional engineering simulators such as the Robot Operating System (ROS), MATLAB/Simulink, and Cyberbotics Webots, to streamlined, cloud-based web emulation tools like Autodesk Tinkercad and Wokwi. Nevertheless, these platforms exhibit significant disparities regarding their underlying software architectures, computational resource requirements, Hardware-in-the-Loop (HIL) integration capacities, and their capability to capture a student's "digital footprint" for rigorous learning analytics [4].

Consequently, prior to designing an optimized, high-performance information system tailored for educational robotics, it is necessary to systematically classify the architectural features of existing software and hardware platforms and perform a comprehensive technical comparative analysis. This investigation addresses both a relevant scientific challenge and a practical pedagogical necessity. The primary objective of this research is to identify and analyze the structural and architectural characteristics of contemporary simulation systems and digital twin platforms deployed in robotics education. By conducting a systematic evaluation of their technical specifications, this study aims to justify the optimal information technology solutions capable of facilitating the automated monitoring and quantitative evaluation of students' cognitive and learning activities [5].

Materials and methods

To investigate the software and hardware platforms underpinning digital twins and simulation tools in educational robotics, a methodological approach based on system analysis, structural decomposition, and multilayer architectural design was deployed. Establishing an optimized information structure during the integration of a robotic complex into an educational framework constitutes a critical requirement, particularly regarding data flow management and the execution of a closed-loop feedback mechanism.

To systematically evaluate the technical and operational functionality of existing platforms, the comprehensive educational robotics framework was modeled as a three-tier architecture. This structural approach provides a rigorous technical foundation to describe and analyze the interactions of users with both virtual and physical environments throughout the learning workflow [6].

The foundational tier is designated as the hardware (physical) layer, which encompasses the physical assets utilized within laboratory environments. The hardware components selected for evaluation represent the computational and mechanical infrastructure standard in contemporary technical colleges. Regarding the microcontroller and onboard computing segment, the analysis incorporated Arduino architectures (Uno and Mega), STM32 microprocessors, ESP32 modules characterized by integrated Wi-Fi and Bluetooth capabilities, and Raspberry Pi 4 single-board computers configured for advanced robotic control sequences. Mechanical actuation was represented by servomotors, stepper motors, and standard DC motors, integrated via L298N and PCA9685 driver circuits. The sensory apparatus comprised ultrasonic distance sensors, infrared modules, MPU6050 gyroscopes, and digital optical cameras.

The intermediate tier comprises the data link and IoT layer, which functions as the primary operational backbone of the integrated infrastructure. This layer facilitates real-time, bidirectional data transfer between the physical hardware components and the corresponding virtual models, serving as a critical prerequisite for architectural stability. Various communication interfaces and protocols were systematically assessed within this framework. Wired data transmission was established via bridge interfaces including USB-UART, I2C, and SPI to facilitate direct communication with the simulation environment. For wireless telemetry, the primary emphasis was placed on lightweight Internet of Things (IoT) protocols. The MQTT protocol was evaluated due to its minimal network overhead, while WebSockets were examined for high-frequency data synchronization with browser-based cloud applications. Additionally, the industrial interoperability

standard OPC UA was integrated into the comparative analysis to simulate authentic manufacturing environments [7].

The definitive tier is defined as the virtual (simulation) layer, which constitutes the software environment responsible for executing the mathematical formulations, computing kinematic and dynamic profiles, and rendering three-dimensional graphical assets. For the comparative investigation, a heterogeneous selection of contemporary software platforms was analyzed. Within the domain of professional and open-source simulators, the study evaluated Cyberbotics Webots and the Gazebo ecosystem operated in conjunction with the Robot Operating System (ROS), both utilizing high-precision physics engines such as ODE and Bullet. Within the framework of digital twin development environments, investigations were directed toward Unity 3D, utilized as a versatile engine for synthesizing kinematics and virtual laboratory interfaces, and NVIDIA Isaac Sim, an industrial-grade deployment platform utilizing the PhysX engine alongside photorealistic ray-tracing graphics. Furthermore, cloud-based web emulators, specifically Autodesk Tinkercad and Wokwi, were incorporated to evaluate the execution of microcontroller source code and simplified circuit layouts within standard web browser interfaces. The structural variations distinguishing professional simulators, digital twin environments, and cloud-based emulators are graphically delineated in the user interfaces presented in Figure 1.

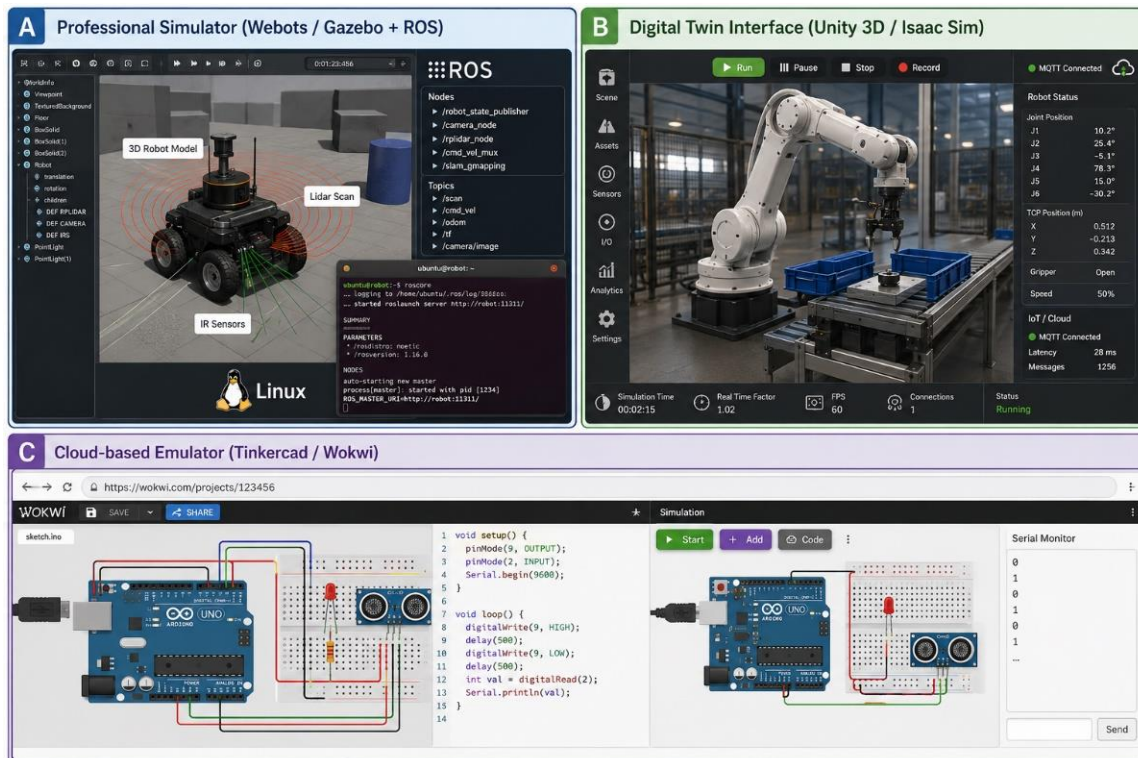


Figure 1 – Graphical user interfaces of the analyzed robotic simulation and emulation platforms

Evaluation Metrics

To evaluate the selected platforms from an information systems perspective, a structured framework comprising specific technical criteria and IT metrics was established. This systematic approach ensures a consistent, side-by-side comparative analysis of the software and hardware environments.

The primary evaluative metric was data synchronization latency. This parameter quantifies the temporal delay, measured in milliseconds, between the mechanical execution of the physical robotic

asset and the corresponding state update within the virtual representation. Minimizing this latency is critical, as even marginal propagation delays can compromise the user's cognitive immersion and operational precision.

A secondary critical determinant was Hardware-in-the-Loop (HIL) operational support. This capability defines the capacity of a given simulation platform to ingest control signals directly from a physical microcontroller and seamlessly integrate them into the virtual kinematics model. The presence of robust HIL support is vital for validating the structural convergence of physical and digital environments [8].

Furthermore, physics engine fidelity was evaluated to determine the computational accuracy with which the simulation models gravitational forces, kinetic friction, rotational inertia, and spatial collisions. While low-fidelity engines provide purely visual approximations, higher-fidelity alternatives execute precise mathematical calculations of non-linear physical forces, which is an essential prerequisite for rigorous robotics training.

Finally, systematic attention was directed toward telemetry and learning analytics capabilities. This metric assesses the capacity of the platform architecture to automatically log granular user interactions into structured SQL or NoSQL databases. The telemetry acquisition matrix targets variables such as algorithmic compiler errors, simulation execution frequencies, and task completion durations. This dataset functions as a quantitative instrument to analyze and measure student cognitive engagement and learning behavioral patterns [9].

Results and discussion

A comprehensive architectural analysis was executed to evaluate the technical performance, communication protocols, and data acquisition infrastructure of the designated software and hardware platforms. The analytical framework was governed by a central investigative question: the extent to which these virtualized environments optimize engineering cognition and foster proactive learning behaviors within technical education demographics.

To facilitate a systematic evaluation of the analytical data, the investigated platforms were classified into three distinct categories (Figure 2).

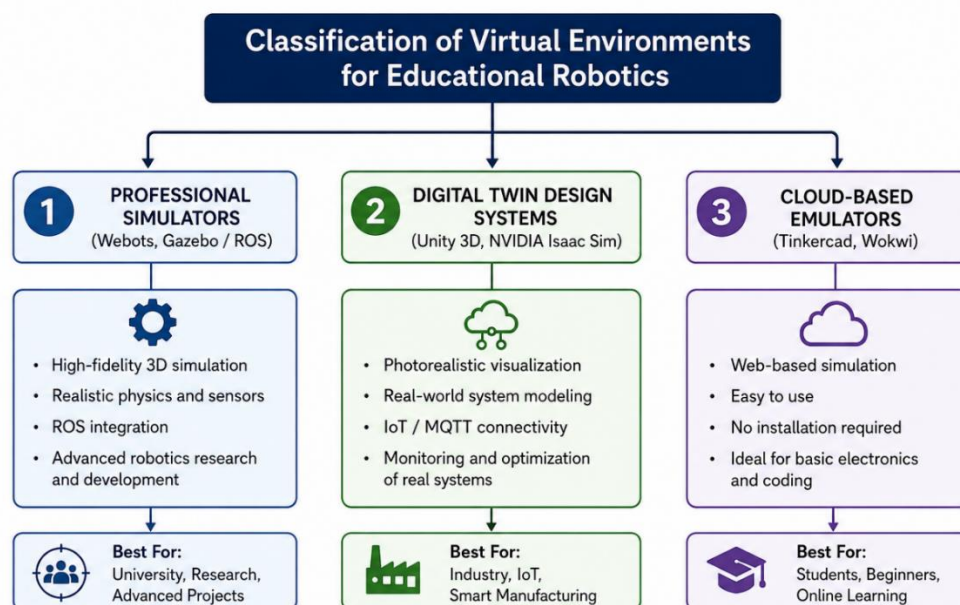


Figure 2 – Classification framework of virtual environments for educational robotics based on professional simulators, digital twin design systems, and cloud-based emulators

As a result of the study, the considered software programs were evaluated based on several technical criteria and metrics. The evaluation was conducted by groups. The summarized results of the performed structural and functional analysis are presented in Table 1.

Table 1 – Comparative analysis of technical characteristics of robotic simulation systems and digital twin platforms

Technical Criteria and IT Metrics	Professional Simulators (Webots, Gazebo)	Digital Twin Platforms (Unity 3D, NVIDIA Isaac Sim)	Cloud Emulators (Tinkercad, Wokwi)
System Architecture Type	Local (Desktop Application)	Hybrid Cloud (IoT / Client-Server)	Cloud SaaS (Web-based)
Data Synchronization Mode (Data Sync)	Limited (Internal software API only)	Bidirectional Real-time (MQTT, WebSockets, OPC UA)	None (Autonomous virtual execution only)
Physics Engine Accuracy	High (ODE, Bullet)	Maximum Industrial Grade (PhysX, RTX Ray-Tracing)	Basic (Logical / Ideal physics only)
Hardware Integration (HIL Support)	Medium (Requires specific drivers and ROS gateways)	Very High (Direct connection with a physical microcontroller)	Low (Connection of virtual components only)
Hardware Requirements	Medium (CPU, basic RAM)	High (GPU, RTX Ray-Tracing support required)	Minimal (Web browser only)
Student "Digital Footprint" Collection (Telemetry & Analytics)	Low (Via local log files)	Very High (Automated log transfer to SQL databases)	Low (Task verification level only)

The comprehensive analysis demonstrates that each category of simulation platforms possesses distinct institutional advantages and technical limitations within the contemporary educational ecosystem. Professional simulators, such as Webots and the Gazebo/ROS ecosystem, exhibit high fidelity and precision in computing the complex kinematics and dynamics of physical robotic systems. Despite these mathematical advantages, their underlying software architecture demands an advanced proficiency in the Linux (Ubuntu) operating system, deep competence in C++ or Python programming, and the ability to manipulate intricate system configuration files. For college students navigating the introductory phases of robotic engineering, this structural complexity establishes an excessively high entry barrier. Consequently, such a steep learning curve frequently induces technical frustration and anxiety, culminating in a measurable decline in cognitive engagement and student proactive participation. Furthermore, these professional environments lack integrated telemetry and built-in learning analytics tools, rendering the remote monitoring of student progression and pedagogical intervention highly problematic [10].

In contrast, cloud-based emulators, specifically Tinkercad and Wokwi, offer a highly accessible alternative characterized by low computational overhead and direct browser-based execution. These platforms serve as efficient instructional tools for the rapid acquisition of foundational concepts in electronic circuitry and microcontroller programming. However, their primary pedagogical utility is severely constrained by the absence of a realistic physics engine. Within these virtual environments, students are unable to simulate or experience critical physical variables such as structural mass, kinetic friction, rotational inertia, or stochastic environmental disruptions, including surface roughness and real-world traction variations. The omission of these dynamics poses a significant

barrier to the cultivation of practical competencies aligned with actual industrial-grade engineering standards.

The paradigm that aligns most rigorously with the strategic mandates of Industry 4.0 centers on the deployment of Digital Twins developed via Unity 3D or the NVIDIA Isaac Sim platform. These sophisticated frameworks offer profound architectural and hardware-software advantages that bridge the gap between virtual experimentation and physical deployment. A primary mechanism of this architecture is real-time telemetry, driven by robust communication protocols such as MQTT or WebSockets. This framework enables the establishment of a continuous, bidirectional communication loop between a physical robotic manipulator situated in a laboratory and its corresponding high-fidelity virtual 3D model. When a student modifies the underlying control algorithms, the virtual representation and the physical hardware execute synchronized movements. This immediate causal loop generates a powerful gamification effect, thereby substantially multiplying intrinsic student motivation and operational engagement [11].

Furthermore, the implementation of Hardware-in-the-Loop (HIL) simulation technology optimizes both fiscal efficiency and safety protocol compliance. Through HIL configurations, students interface physical microcontrollers, such as Arduino or ESP32 architectures, directly with the workstation to deploy operational source code, while visualizing the resultant kinetic behavior through a highly precise, simulated 3D model. This methodological approach effectively eliminates the operational risks associated with mechanical collisions and structural damage to high-cost laboratory instrumentation. Finally, these digital twin architectures facilitate advanced learning analytics for the continuous monitoring of cognitive engagement. At the core information system layer, every specific user interaction – ranging from simulation execution frequencies and the density of logical errors in the compiled code to granular task completion timelines—is automatically recorded as log data within structured databases such as SQLite or PostgreSQL, enabling objective, quantitative evaluations of the learning process.

Conclusion

The comparative investigation into the hardware and software infrastructure of educational robotics highlights a critical architectural divergence between advanced professional simulation environments and entry-level emulation tools. Specialized high-fidelity platforms, specifically Gazebo and Webots, present an overly complex operational overhead, creating an unsustainable entry barrier for undergraduate students during introductory engineering courses. On the contrary, ubiquitous cloud-based environments such as Tinkercad fail to replicate the complex kinematics and multi-body physics intrinsic to industrial-grade robotic applications. This functional disparity validates the necessity of developing hybrid technological frameworks that merge the rigorous mathematical precision of professional simulation software with the accessible, browser-based deployment models of modern cloud systems.

The analytical outcomes confirm that Digital Twins engineered via Unity 3D or the NVIDIA Isaac Sim architecture yield superior technical and pedagogical outcomes. By establishing a fully synchronized ecosystem structured as a Physical Robot <-> IoT Gateway <-> Virtual Model pipeline, these configurations serve as highly effective mechanisms for expanding cognitive immersion and student autonomy. The integration of an instantaneous, bidirectional telemetry loop eliminates instructional latency, thereby transforming conventional laboratory exercises into highly interactive engineering workflows.

Consequently, subsequent research initiatives will be dedicated to the structural synthesis and system modeling of an optimized digital twin framework engineered for automated technical curricula. The projected architecture is designed to unify a hardware microcontroller topology, an optimized MQTT broker node, and a proprietary Unity 3D visualization canvas. Subsequent empirical investigations will focus on integrating this deployed infrastructure into active university

laboratory operations to establish a quantitative, statistically validated assessment of its long-term operational and instructional utility.

References

1. Wickramasinghe G., Wickramasinghe V. Institutional Response to Implement 4IR Competencies into Programme Offerings of Technical and Vocational Education and Training in Indo-Pacific // Journal of Technical Education and Training, 2024, T. 16. №3, P. 168-181.
2. Teis N. J. P., Els C. J. Knowledge, competencies and dispositions of lecturers in Technical Engineering in the context of advancing 4IR technologies // Journal of Vocational, Adult and Continuing Education and Training, 2021, T. 4. №1, P. 26.
3. Burkul C., Tajane A., Chavhan P. Implementation of Industry 4.0 Technologies in Technical and Vocational Education in Maharashtra // Asian Journal For Convergence In Technology (AJCT), 2025, T. 11. №1, P. 65-76.
4. MacCraith E., Forde J. C., Davis N. F. Robotic simulation training for urological trainees: a comprehensive review on cost, merits and challenges // Journal of Robotic Surgery, 2019, T. 13. №3, P. 371-377.
5. Camargo C., Goncalves J., Conde M. A., Rodriguez-Sedano F. J., Costa P., García-Penalvo F. J. Systematic Literature Review of Realistic Simulators Applied in Educational Robotics Context // Sensors, 2021, T. 21. №12, P. 4031.
6. Span M. T., Mailloux L. O., Grimaila M. R. Cybersecurity architectural analysis for complex cyber-physical systems // The Cyber Defense Review, 2018, T. 3. №2, P. 115-134.
7. Silva D. et al. A performance analysis of internet of things networking protocols: Evaluating MQTT, CoAP, OPC UA // Applied Sciences, 2021, T. 11. №11, P. 4879.
8. Mihalic F., Truntic M., Hren A. Hardware-in-the-loop simulations: A historical overview of engineering challenges // Electronics, 2022, T. 11. №15, P. 2462.
9. Liao C., Wang Y., Ding X., Ren Y., Duan X., He J. Performance Comparison of Typical Physics Engines Using Robot Models With Multiple Joints // IEEE Robotics and Automation Letters, 2023, T. 8. №11, P. 7520-7526.
10. Fung K. Y., Fung K. C., Lui T. L. R. et al. Exploring the impact of robot interaction on learning engagement: a comparative study of two multi-modal robots // Smart Learning Environments, 2025, T. 12. №12, P. 12.
11. Nambiar S., Paul R. C., Ikechukwu O. C., Jonsson M., Tarkian M. Digital Twin-Enabled Adaptive Robotics: Leveraging Large Language Models in Isaac Sim for Unstructured Environments // Machines, 2025, T. 13. №7, P. 620.

Ж.Д. Изтаев, А.Е. Тимурбеков, Б.Е. Айдаулет*

п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, zhalgasbek71@mail.ru, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистрант, aidar012545682@gmail.com, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистр, оқытушы, bekarys.aidaulet@mail.ru, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

РОБОТОТЕХНИКАНЫ ОҚЫТУДА ҚОЛДАНЫЛТЫН ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕР МЕН СИМУЛЯЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-АППАРАТТЫҚ ПЛАТФОРМАЛАРЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Түйін

Мақалада білім беру робототехникасында қолданылатын цифрлық егіздер мен симуляциялық жүйелердің бағдарламалық-аппараттық платформаларының архитектуралық және техникалық ерекшеліктеріне жүйелі салыстырмалы талдау жасалды. Зерттеу барысында робототехникалық кешендердің үш деңгейлі ақпараттық құрылымы модельденді. Оның құрамына аппараттық деңгей

(микроконтроллерлер, сенсорлар және атқарушы механизмдер), коммуникациялық деңгей (MQTT, WebSockets, OPC UA хаттамалары) және виртуалды симуляциялық деңгей (Webots, Gazebo, Unity 3D, NVIDIA Isaac Sim, Tinkercad, Wokwi) енгізілді. Платформаларды бағалау мақсатында деректерді синхрондау кідірісі, физикалық модельдеу дәлдігі, Hardware-in-the-Loop (HIL) технологиясын қолдау мүмкіндігі, есептеу ресурстарына қойылатын талаптар және телеметриялық мәліметтер мен студенттердің «цифрлық ізін» жинау функциялары сияқты кешенді IT-метрикалар қолданылды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, кәсіби симуляторлар физикалық процестерді жоғары дәлдікпен модельдегенімен, олардың аппараттық интеграция және телеметриялық талдау құралдары шектеулі. Ал Unity 3D және NVIDIA Isaac Sim негізіндегі цифрлық егіздер платформалары нақты уақыттағы екіжақты синхрондауды, IoT-интеграцияны және SQL/NoSQL деректер қорларымен байланысты толық қамтамасыз ететіндіктен, робототехникалық ақпараттық жүйелер үшін ең тиімді архитектуралық шешім ретінде айқындалды.

Кілттік сөздер: цифрлық егіз, робототехника, симуляциялық жүйелер, MQTT, Unity 3D, NVIDIA Isaac Sim, Gazebo, Webots, IoT, ақпараттық жүйелер.

Ж.Д. Изтаев, А.Е. Тимурбеков, Б.Е. Айдаулет*

к.п.н., ассоциированный профессор, zhalgasbek71@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

магистрант, aidar012545682@gmail.com, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
магистр, преподаватель, bekarys.aidaulet@mail.ru, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ ПЛАТФОРМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И СИМУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОБУЧЕНИИ РОБОТОТЕХНИКИ

Аннотация

В статье представлен сравнительный анализ архитектурных и технических характеристик программно-аппаратных платформ цифровых двойников и симуляционных систем, применяемых в образовательной робототехнике. В ходе исследования смоделирована трехуровневая архитектура робототехнической информационной системы, включающая аппаратный уровень (микроконтроллеры, сенсоры и исполнительные механизмы), коммуникационный уровень (протоколы MQTT, WebSockets, OPC UA) и уровень виртуальной симуляции (Webots, Gazebo, Unity 3D, NVIDIA Isaac Sim, Tinkercad, Wokwi). Для комплексной оценки платформ использовались такие IT-метрики, как задержка синхронизации данных, точность физического движения, поддержка технологии Hardware-in-the-Loop (HIL), требования к вычислительным ресурсам, а также возможности сбора телеметрии и «цифрового следа» обучающихся. Полученные результаты демонстрируют, что профессиональные симуляторы обеспечивают высокую точность физического моделирования, однако обладают ограниченным функционалом для аппаратной интеграции и телеметрической аналитики. В свою очередь, платформы цифровых двойников на базе Unity 3D и NVIDIA Isaac Sim поддерживают двустороннюю синхронизацию в реальном времени, IoT-интеграцию и взаимодействие с базами данных SQL/NoSQL, что делает их наиболее эффективным архитектурным решением для робототехнических информационных систем.

Ключевые слова: цифровой двойник, робототехника, симуляционные системы, MQTT, Unity 3D, NVIDIA Isaac Sim, Gazebo, Webots, IoT, информационные системы.

П.А. Кожобекова*, З.Н. Халкулова, Ж.Д. Изтаев, А.Т. Калбаева, А.Н. Жаксанова

т.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистрант, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

т.ғ.к., аға оқытушы, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: perneshe-63@mail.ru

ҚҰЖАТТАМАНЫ БАСҚАРУДАҒЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР: ЭЛЕКТРОНДЫҚ ҚҰЖАТ АЙНАЛЫМЫН ЕНГІЗУДІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Түйін

Мақалада ұйымдарда электрондық құжат айналымының ақпараттық жүйелерін (ЭҚЖ) енгізудің экономикалық тиімділігін бағалау қарастырылады. ЭҚЖ енгізудің құжат айналымын жеделдетуге, қағаз құжаттарға шығындарды азайтуға, құжаттарды іздеу мен келісу уақытын қысқартуға, орындаушылық тәртіпті арттыруға және бизнес-процестерді оңтайландыруға әсерін өлшеуге мүмкіндік беретін сандық және сапалық көрсеткіштер қарастырылады. Тікелей өлшеу мен сараптамалық бағалауды қоса алғанда, жұмыс уақыты мен ресурстарды үнемдеуді есептеу үшін деректерді жинау әдістері ұсынылған. ЭҚЖ-ны қолданыстағы ақпараттық жүйелермен интеграциялау және қызметкерлерді қамту талданады. Жұмыста ЭҚЖ енгізу тиімділігін бағалау басқарушылық шешімдер қабылдаудың, одан әрі цифрландыруды жоспарлаудың және ұйымның өнімділігін арттырудың, сондай-ақ ақпараттық технологияларды енгізу жобаларының экономикалық орындылығын растаудың негізгі құралы болып табылатыны көрсетілген.

Кілттік сөздер: электрондық құжат айналымы, ақпараттық жүйелер, экономикалық тиімділік, жобаларды басқару.

Кіріспе. Ақпараттық жүйелерді енгізу жобаларының тиімділігін бағалау қазіргі заманғы басқарудың ажырамас тәжірибесіне айналуға және электрондық құжат айналымы (ЭҚЖ) жүйелерін енгізу де ерекшелік болып табылмайды. Әрбір жоба, сайып келгенде, сәттілікпен немесе сәтсіздікпен аяқталады және кідіріс жағдайында менеджерлер қол жеткізілген нәтижелерді бағалауға және енгізуді жалғастырудың орындылығын анықтауға тырысады. Электрондық құжат айналымы жүйелері бүгінде ең сұранысқа ие ат-жобалардың бірі болып табылады, өйткені олар құжаттарды өңдеуді жеделдетуге, қағаз тасымалдағыштарға шығындарды азайтуға, көшіруге және жеткізуге, құжаттарды іздеу мен келісу уақытын қысқартуға, сондай-ақ орындаушылық тәртіпті арттыруға мүмкіндік береді [1].

ЭҚЖ енгізудің тиімділігі жүйенің жұмысының сапасымен ғана емес, сонымен бірге оны кәсіпорынның қолданыстағы бизнес-процестерімен интеграциялау деңгейімен, жүйені пайдаланатын қызметкерлерді қамтумен және уақыт пен ресурстардың шығындарының нақты төмендеуімен анықталады. Қол жеткізілген нәтижелерді бағалау үшін сандық көрсеткіштерді де ескеру қажет — жұмыс уақытының азаюы, құжат айналымын жеделдету, күнделікті операциялардың көлемін азайту және сапалық — ұйымның имиджін арттыру, жұмысты ретке келтіру, тұтынушыларға қызмет көрсетуді жақсарту.

Осы мақаланың мақсаты электрондық құжат айналымы жүйелерін енгізудің экономикалық тиімділігін бағалау әдістерін талдау, тиімділіктің негізгі көрсеткіштерін анықтау және деректерді жинау және енгізу нәтижелерін бағалау бойынша ұсынымдарды қалыптастыру болып табылады. Зерттеу әдістері ретінде әдеби дереккөздерді талдау, құжат айналымы туралы статистикалық мәліметтерді жинау, сондай-ақ қызметкерлердің нақты

жұмыс жағдайлары мен ұйымның ерекшеліктерін ескеруге мүмкіндік беретін сараптамалық бағалау қолданылады [2].

Бұл зерттеудің нәтижелері ЭҚЖ енгізуді жоспарлап отырған кәсіпорындар үшін, сондай-ақ электрондық құжат айналымы жүйелерін әзірлеумен және сүйемелдеумен айналысатын АТ-компаниялар үшін пайдалы болуы мүмкін, өйткені олар жобаның тиімділігін объективті бағалауға және ұйымның нақты қажеттіліктеріне байланысты енгізу процесін түзетуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер. Электрондық құжат айналымы жүйелерін (ЭҚЖ) енгізудің тиімділігін бағалау жүйені толыққанды енгізгеннен және оны кәсіпорынның күнделікті жұмысына біріктіргеннен кейін ғана жүргізілуі тиіс. Егер іске асыру аяқталмаса немесе сәтсіз болса, экономикалық әсер әдетте аз немесе мүлдем болмайды [3].

Іске асыру сапасын талдау үшін бірнеше негізгі көрсеткіштер қолданылады. Біріншіден, жүйеде жасалған электрондық құжаттар санының қағаз тіркеу карточкаларының санына қатынасы. Кешенді енгізу кезінде барлық кіріс құжаттар электрондық форматқа ауыстырылады, ал шығыс құжаттар тікелей жүйеде жасалады. Егер бұл көрсеткіш 100% - дан аз болса, бұл құжат айналымының толық қамтылмағанын көрсетеді. Сыртқы құжат айналымы қарқынды компанияларда ол әдетте 200% — ға, ал ішкі құжат айналымы басым ұйымдарда 1000% - ға дейін жетеді.

Екіншіден, қызметкерлердің қамтылуы бағаланады: ЭҚЖ нақты пайдаланушылары санының құжат айналымына қатысатын басқарушылар мен инженерлік-техникалық қызметкерлердің жалпы санына қатынасы 100% - ға жақындауы тиіс. Үшінші көрсеткіш электрондық цифрлық қолтаңбамен қол қойылған құжаттардың Шығыс тіркеу карточкаларының санына қатысты үлесі болып табылады. 100% - дан жоғары мән құжаттардың бір бөлігі толығымен электронды түрде қалып, басып шығару және сканерлеу қажеттілігін азайтатынын көрсетеді.

Сондай — ақ, ЭҚЖ-ны кәсіпорынның қолданыстағы ақпараттық жүйелерімен-мысалы, бірыңғай анықтамалықтармен, шарттармен немесе өтінімдермен жұмыс жүйелерімен интеграциялау дәрежесі маңызды критерий болып табылады. Бұл көрсеткіш енгізудің толықтығын ғана емес, сонымен бірге қолданылатын жүйенің класын да көрсетеді, өйткені барлық шешімдер басқа жүйелермен оңай біріктірілмейді [4].

ЭҚЖ енгізудің әсерін тікелей экономикалық (шығындарды азайту немесе кірісті ұлғайту, жүйе мен енгізу шығындарын шегергенде) және жанама — тікелей әсер алуға әсер ететін сапалық көрсеткіштер ретінде бағалауға болады. Сандық көрсеткіштерге құжаттарды іздеуге және сәйкестендіруге кететін уақытты азайту арқылы жұмыс уақытының қысқаруы, күнделікті операциялардың көлемін азайту, интеллектуалды және тиімді мәселелерді шешуге уақыт бөлу кіреді. Басқа сандық көрсеткіштер-қағаз бен шығын материалдарының санын азайту, құжат айналымын және барлық байланысты бизнес-процестерді жеделдету.

Электрондық құжат айналымы жүйелерін (ЭҚЖ) енгізудің тиімділігін бағалау үшін сандық және сапалық көрсеткіштер пайдаланылады. Аталған критерийлердің көпшілігін қарапайым формулалармен есептеуге болады. Мәселен, мысалы, ЭҚЖ енгізілгеннен кейін қызметкерлердің құжаттарды келісу уақытын үнемдеу формула бойынша анықталуы мүмкін:

$$T = (t_0 - t_1) * k,$$

мұндағы T - қызметкерлердің электрондық құжат айналымы жүйесі енгізілгеннен кейін құжаттарды келісу уақытын үнемдеу; t_0 және t_1 — қызметкердің электрондық құжат айналымы жүйесі енгізілгенге дейін және енгізілгеннен кейін тиісінше құжатқа қол жинауға және келісуге жұмсайтын уақыты; k -айына келісілетін құжаттар саны.

Зерттеу барысында сандық және сапалық талдау әдістерінің жиынтығына негізделген электрондық құжат айналымы жүйелерін енгізудің тиімділігін бағалаудың кешенді тәсілі

қолданылды. Зерттеудің ақпараттық базасы ретінде ғылыми жарияланымдар, Ақпараттық жүйелерді басқару жөніндегі материалдар, құжат айналымын автоматтандыру саласындағы зерттеулердің нәтижелері, сондай-ақ құжаттарды басқарудың электрондық жүйелерін пайдаланатын ұйымдардың статистикалық деректері пайдаланылды.

Талдау үшін ЭКЖ енгізілгенге дейін және одан кейін кәсіпорын қызметінің көрсеткіштерін салыстыруға мүмкіндік беретін салыстырмалы әдіс қолданылды. Құжаттарды өңдеу уақытының көрсеткіштеріне, келісу жылдамдығына, өңделген құжаттардың санына, қағаз құжат айналымының көлеміне және қызметкерлердің жүйені пайдалануға қатысу деңгейіне баса назар аударылды.

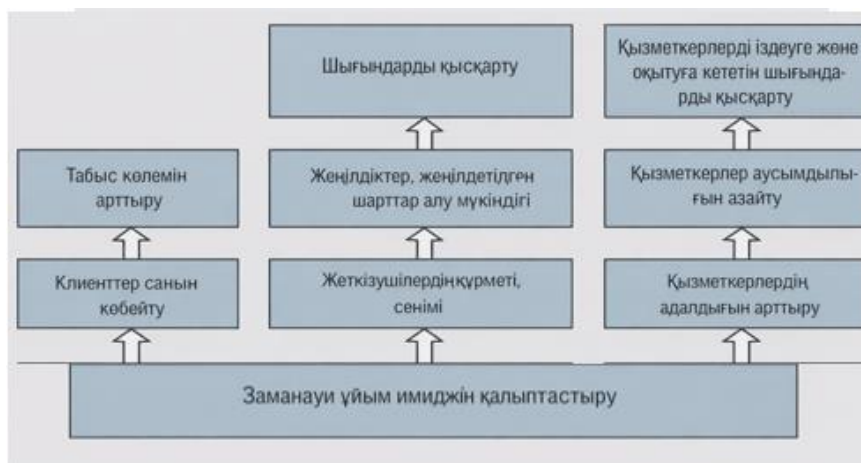
Объективті деректерді алу үшін кәсіпорынның ішкі есептерін тікелей бақылау және талдау әдістері қолданылды. Сондай-ақ, жүйенің ыңғайлылығына, бөлімшелер арасындағы өзара әрекеттесу сапасының өзгеруіне және енгізілген шешімдерге қызметкерлердің қанағаттану деңгейіне байланысты субъективті факторларды ескеруге мүмкіндік беретін сараптамалық бағалау әдісі қолданылды. Алынған нәтижелер электрондық құжат айналымының кәсіпорынның бизнес-процестерінің тиімділігіне әсер ету дәрежесін анықтау үшін жүйелендіріліп, кейіннен аналитикалық жалпылауға ұшырады.

Нәтижелер мен талқылау. Жүргізілген талдау құжат айналымының электрондық жүйелерін енгізу кәсіпорынның ішкі бизнес-процестерін ұйымдастыруға айтарлықтай әсер ететіндігін көрсетті. Алынған нәтижелер құжаттарды өңдеу және келісу уақытының қысқарғанын, қағаз жеткізгіштер санының азайғанын, сондай-ақ қызметкерлер мен бөлімшелер арасындағы өзара іс-қимылдың жеделдігінің артқанын көрсетеді.

Тиімділікті талдау Электрондық құжат айналымы кәсіпорынның қолданыстағы ақпараттық ресурстарымен интеграцияланған және құжаттарды өңдеудің көптеген процестерін қамтитын жүйені кешенді енгізу арқылы үлкен нәтижеге қол жеткізілетіндігін көрсетті. Мұндай жағдайларда күнделікті операцияларды орындауға жұмсалатын еңбек шығындарының айтарлықтай төмендеуі, қайталанатын әрекеттер санының азаюы және міндеттердің орындалуын бақылаудың ашықтығының артуы байқалады.

Алынған нәтижелер іске асырудың тиімділігі бағдарламалық жасақтаманың техникалық сипаттамаларына ғана емес, сонымен қатар қызметкерлердің дайындық деңгейіне, бизнес-процестердің бейімделу дәрежесіне және енгізілген жүйені қолдау сапасына байланысты ұйымдастырушылық факторларға байланысты екенін растайды. Толығырақ талдау үшін тиімділіктің негізгі көрсеткіштері және оларды бағалау әдістері қарастырылады.

Сапалық көрсеткіштер компанияның имиджін жақсартуды, клиенттерге қызмет көрсету сапасын арттыруды, жұмыс үрдістерін ретке келтіруді көрсетеді. Ақпараттық жүйелерді енгізу көбінесе сапалы әсерлермен бірге жүретініне қарамастан, сандық көрсеткіштер үлкен әсер қалдырады. Бұл жағдайда әсерді дәлірек бағалау үшін маңызды сапалық нәтижелерді сандық нәтижелерге айналдыруға болады (сурет 1).



Сурет 1 - Электрондық құжат айналымы жүйесін енгізу тиімділігі көрсеткіштерінің өзара байланысы

Алайда, бастапқы деректерді жинау тривиальды емес міндет болып табылады, өйткені жүйені енгізгенге дейін операциялардың орындалу уақыты мен құжат айналымының көлемі туралы статистика жиі жүргізілмеген. Мұндай жағдайларда тікелей өлшеу мен сараптамалық бағалаудың комбинациясын қолдану ұсынылады. Тікелей өлшеулер енгізілген жүйеден алынған деректерді талдауды (персоналдың жүктемесі, жасалған құжаттардың саны, мерзімі өткен тапсырмалар және т.б. туралы есептер), жеке операцияларға жұмсалған уақытты анықтау үшін секундомерді пайдалануды, сондай-ақ бухгалтерлік деректер бойынша шығын материалдарын есепке алуды қамтуы мүмкін [5].

Барлық көрсеткіштер тікелей өлшенбейді, сондықтан сараптамалық бағалау әдісі ең сенімді болып саналады. Оны кәсіпорында қолданған кезде жүйені енгізгенге дейін де, одан кейін де процестердің тікелей қатысушылары немесе пайдаланушылары болып табылатын сарапшылар таңдалады. Сарапшыларға қойылатын негізгі талаптар кәсіпорындағы жұмыс өтілі кемінде екі жыл және жүйемен жұмыс тәжірибесі кемінде екі-үш ай болып табылады. Сарапшы өзінің функционалдық саласында ғана емес, жалпы кәсіпорынның жұмысында да құзыреттілікке ие болуы керек. Көбінесе мұндай сарапшылар жоғары деңгейдегі басшылар, бөлім бастықтары немесе олардың орынбасарлары, сондай-ақ іс жүргізушілер мен хатшыларды қоса алғанда, көптеген құжаттар өтетін негізгі қызметкерлер болады [6].

Сарапшылардың сауалнамасы сауалнама немесе сұхбат түрінде жүргізілуі мүмкін. Алынған мәліметтер математикалық статистика әдістерін қолдана отырып өңделеді, содан кейін жобаның интегралды бағасы қалыптасады. Сарапшылар қолданатын бағалаудың бірнеше тәсілдері бар:

1. Тікелей сандық бағалау (субъективті). Сарапшы объектілерге сандық мәндерді белгілі бір шкала бойынша тағайындайды, мысалы, келісімшарттарды келісу қаншалықты жеделдегенін немесе құжаттарды іздеу уақыты қаншалықты қысқарғанын бағалайды. Нақты сандық бағалау, мысалы, "құжаттарды келісу мерзімі екі есе қысқарды", сарапшы әрдайым көрсете бермейді, бірақ интегралды көрсеткішті есептеу үшін бірнеше мамандардың бағаларының сәйкес келуіне жол береді.

2. Рейтинг жүйесі (мақсаттың басымдықтары). Сарапшы объектілерді таңдалған салыстыру критерийлері негізінде маңыздылық дәрежесі бойынша орналастырады, мысалы, бизнес-процестерді автоматтандырудың басымдығы бойынша. Әдістің артықшылығы-іске асырудың қарапайымдылығы, кемшілігі-көптеген объектілерді ұйымдастырудың күрделілігі.

3. "Мүмкін/мүмкін емес" қағидаты бойынша бағалау. Сарапшы өзгерістердің жиынтық бағасын қалыптастыра отырып, ЭҚЖ енгізілгеннен кейін мүмкін немесе мүмкін болмайтын жағдайларды атап өтеді.

4. Баллдық жүйе (күтулерге сәйкестік). Сарапшы енгізу сапасын, жүйенің жұмысын, консультанттардың қызметін және жобаның басқа да көрсеткіштерін баллмен бағалайды.

Жобаның сәтті болуының негізгі шарттарының бірі-мақсаттарды дұрыс қою. Сараптамалық бағалау әдісін ЭҚЖ енгізуді жоспарлау кезеңінде де қолдануға болады, бұл құжат айналымының қиындықтары мен проблемалық процестерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл мақсаттарды нақтылауды қамтамасыз етеді және оларды өлшеуге мүмкіндік береді. Мысалы, "қағаз құжат айналымын қысқарту" мақсаты қандай құжаттар басып шығаруды тоқтататынын (қызметтік жазбалар, келісім-шарт жобалары және т.б.), қай бөлімдерде және қандай көлемде болатынын нақтылауы керек.

Мақсаттарды нақтылау енгізуден кейінгі әсерді дәлірек өлшеуге мүмкіндік береді. "Құжат айналымын жеделдету" мақсаты шеңберінде шартты келісудің орташа мерзімін екі аптадан екі күнге дейін қысқарту сияқты маңызды процестерді айқындау қажет. Бұл үдеу пайызын есептеуге мүмкіндік береді.

Егер компанияда үлкен құжат айналымы бар қашықтағы кеңселер болса, "қағаз құжаттарын кеңселер арасында жылжыту шығындарын азайту"мақсатын қойған жөн. Енгізілгеннен кейін құжаттарды жеткізу үшін курьерлік қызметтер мен көлікке деген қажеттілік қаншалықты төмендегенін бағалауға болады.

Осылайша, сандық әдістердің, тікелей өлшеулер мен сараптамалық бағалаудың үйлесімі электрондық құжат айналымы жүйелерін енгізудің тиімділігі туралы кешенді идеяны қалыптастыруға, проблемалық аймақтарды анықтауға және кәсіпорынның мақсаттарына сәйкес енгізу процесін түзетуге мүмкіндік береді [7].

Электрондық құжат айналымы жүйесін енгізудің маңызды нәтижелерінің бірі – ақпараттың сақталу қауіпсіздігін арттыру және құжаттардың жоғалу тәуекелін төмендету болып табылады. Дәстүрлі қағаз құжат айналымында құжаттардың жоғалуы, бүлінуі немесе дұрыс сақталмауы жиі кездеседі. Электрондық жүйе бұл мәселелерді орталықтандырылған сақтау, резервтік көшіру және қол жеткізуді бақылау құралдары арқылы азайтады. Сонымен қатар, жүйеде әрбір әрекетті тіркеу мүмкіндігі құжаттармен жұмыс істеудің ашықтығын қамтамасыз етеді және жауапкершілік деңгейін арттырады.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері электрондық құжат айналымы жүйелерін енгізу ұйым қызметкерлерінің цифрлық сауаттылығының артуына да оң әсер ететіндігін көрсетті. Қызметкерлердің ақпараттық жүйелермен тұрақты жұмыс істеуі олардың жаңа технологияларды игеру деңгейін көтеріп, ішкі коммуникациялардың сапасын жақсартады. Бұл өз кезегінде кәсіпорынның жалпы цифрлық трансформациясына ықпал етеді және болашақта басқа да инновациялық шешімдерді енгізуге дайындық деңгейін қалыптастырады.

Сонымен қатар, енгізілген жүйелер басқарушылық шешімдерді қабылдау сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Басшылық құжаттардың орындалу мәртебесі, мерзімі өткен тапсырмалар, қызметкерлердің жүктемесі және құжат айналымының динамикасы туралы жедел аналитикалық ақпарат алады. Мұндай мәліметтер ұйым қызметін тиімді жоспарлауға, ресурстарды оңтайлы бөлуге және проблемалық процестерді уақытында анықтауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде кәсіпорынның басқарушылық тиімділігі мен бәсекеге қабілеттілігі артады.

Қорытынды. Жобаның сәттілігін бағалау кәсіпорында электрондық құжат айналымы жүйесін дамыту перспективасын анықтау үшін де қажет, әсіресе егер жоба пилоттық сипатта болып, кейіннен холдингтің басқа бөлімшелеріне немесе еншілес кәсіпорындарына таратылатын болса. Тиімділікті бағалау кезінде тәуелсіз сарапшыларды немесе үшінші тарап ұйымдарын тарту бағалау нәтижелерінің объективтілігі мен сенімділігін арттырады. Мұндай

тәсіл қосымша шығындарды талап еткенімен, енгізу сапасын әділ бағалауға және болашақта жүйені жетілдіру бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, өз өнімдерінің сапасына ерекше мән беретін заманауи IT-компаниялар енгізу нәтижелерін бақылау мен талдаудың ішкі әдістемелерін қалыптастырады.

Электрондық құжат айналымы жүйесін енгізудің тиімділігін бағалау әдістері әрбір кәсіпорынның ерекшеліктеріне, оның қызмет саласына, ұйымдық құрылымына және құжат айналымының көлеміне байланысты бейімделуі тиіс. Алайда жүргізілген зерттеу көрсеткендей, сандық көрсеткіштерді, тікелей өлшеулерді және сараптамалық бағалауды кешенді пайдалану енгізудің нақты нәтижелерін анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл жүйенің экономикалық әсерін ғана емес, сонымен қатар ұйымдастырушылық және сапалық нәтижелерін бағалауға жағдай жасайды.

Электрондық құжат айналымы жүйелері қазіргі ақпараттық қоғам жағдайында кәсіпорындардың тиімділігін арттырудың маңызды құралына айналып отыр. Жүргізілген талдау нәтижесінде мұндай жүйелер құжаттарды келісу уақытын қысқартуға, қағаз құжат айналымына кететін шығындарды азайтуға, орындаушылық тәртіпті күшейтуге және бөлімшелер арасындағы өзара іс-қимыл сапасын жақсартуға мүмкіндік беретіні анықталды. Сонымен қатар, құжаттардың орындалуын бақылау деңгейі артып, басқару шешімдерін қабылдау жеделдігі жоғарылайды.

Электрондық жүйелерді енгізудің тағы бір маңызды артықшылығы – ақпараттың қауіпсіздігі мен сақталуын қамтамасыз ету. Құжаттарды орталықтандырылған түрде сақтау, резервтік көшіру және қол жеткізу құқықтарын шектеу құпия ақпараттың жоғалу немесе рұқсатсыз пайдаланылу қаупін төмендетеді. Бұл әсіресе үлкен көлемдегі құжаттармен жұмыс істейтін ұйымдар үшін маңызды. Сонымен қатар, электрондық жүйелер ұйым ішінде тәртіп пен жауапкершілік мәдениетін қалыптастыруға ықпал етеді.

Зерттеу барысында электрондық құжат айналымы жүйесін енгізудің табысты болуы тек техникалық құралдарға ғана емес, сонымен қатар қызметкерлердің дайындық деңгейіне, ұйымның өзгерістерге бейімділігіне және басқарушылық қолдауға тәуелді екендігі анықталды. Қызметкерлерді оқыту, жаңа процестерге бейімдеу және жүйемен тұрақты жұмыс істеу кәсіпорынның цифрлық мәдениетін қалыптастырады. Бұл болашақта басқа да ақпараттық технологияларды енгізуге негіз болады.

Мақсаттарды дұрыс қою және күтілетін нәтижелерді нақты анықтау енгізу тиімділігін бағалаудың маңызды шарты болып табылады. Егер ұйым алдын ала нақты көрсеткіштерді белгілесе, мысалы құжаттарды келісу мерзімін қысқарту, қағаз шығындарын азайту немесе тапсырмалардың орындалуын жеделдету, онда енгізуден кейінгі нәтижелерді өлшеу анағұрлым дәл болады. Бұл өз кезегінде кәсіпорын басшылығына енгізудің нақты экономикалық және ұйымдастырушылық әсерін көруге мүмкіндік береді.

Қорыта айтқанда, электрондық құжат айналымы жүйелерін енгізу кәсіпорындардың тиімділігін арттырудың, ресурстарды үнемдеудің және басқару сапасын жақсартудың маңызды факторы болып табылады. Мұндай жүйелер ұйымдардың цифрлық трансформациясына негіз қалыптастырып, олардың заманауи нарық жағдайындағы бәсекеге қабілеттілігін күшейтеді. Жұмыстың нәтижелері құжат айналымын автоматтандыру жобаларын жоспарлау, енгізу және бағалау кезінде тәжірибелік негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін, сондай-ақ ақпараттық жүйелердің тиімділігін зерттеуге бағытталған болашақ ғылыми жұмыстар үшін әдістемелік база қызметін атқара алады.

Алғыс

Авторлар қолжазбадағы барлық ақпарат үшін, соның ішінде плагиаттың болмауы, дәйексөздің дәлдігі және жасанды интеллект жасаған жалған фактілердің болмауы үшін жауап береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Смирнов А.В. Информационные системы документооборота на предприятии: учебное пособие / А.В. Смирнов. — Москва: Финансы и статистика, 2019. — 256 с.
2. Петров Б.И. Управление проектами внедрения информационных систем / Б.И. Петров. — Санкт-Петербург: Питер, 2021. — 304 с.
3. Кузнецова Е.Л. Экономическая эффективность информационных технологий / Е.Л. Кузнецова, И.С. Волков. — Новосибирск: СибАДИ, 2020. — 224 с.
4. Иванова Н.М. Оценка эффективности автоматизации бизнес-процессов / Н.М. Иванова // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2022. — № 3. — С. 45–53.
5. Лебедев С.П. Электронный документооборот: практика и перспективы / С.П. Лебедев, А.В. Морозов. — Екатеринбург: УрФУ Изд-во, 2021. — 192 с.
6. Белякова Т.Н. Методология оценки эффективности проектов цифровой трансформации предприятий / Т.Н. Белякова // Вестник цифровой экономики. — 2023. — Т. 8, № 1. — С. 60–72.
7. Shapiro J. Electronic Document Management Systems: Concepts and Evaluation / J. Shapiro, M. Lee // Journal of Digital Business. — 2020. — Vol. 10, No. 4. — P. 98–112.

References

1. Smirnov A.V. Informatsionnye sistemy dokumentooborota na predpriatii: uchebnoe posobie / A.V. Smirnov. — Moskva: Finansy i statistika, 2019. — 256 s.
2. Petrov B.I. Upravlenie proektami vnedreniia informatsionnykh sistem / B.I. Petrov. — Sankt Peterburg: Piter, 2021. — 304 s.
3. Kuznetsova E.L. Ekonomicheskaiia effektivnost informatsionnykh tekhnologii / E.L. Kuznetsova, I.S. Volkov. — Novosibirsk: SibADI, 2020. — 224 s.
4. Ivanova N.M. Otsenka effektivnosti avtomatizatsii biznes protsessov / N.M. Ivanova // Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy. — 2022. — № 3. — S. 45–53.
5. Lebedev S.P. Elektronnyi dokumentooborot: praktika i perspektivy / S.P. Lebedev, A.V. Morozov. — Ekaterinburg: UrFU Izd vo, 2021. — 192 s.
6. Beliakova T.N. Metodologiiia otsenki effektivnosti proektov tsifrovoy transformatsii predpriatii / T.N. Beliakova // Vestnik tsifrovoy ekonomiki. — 2023. — T. 8, № 1. — S. 60–72.
7. Shapiro J. Electronic Document Management Systems: Concepts and Evaluation / J. Shapiro, M. Lee // Journal of Digital Business. — 2020. — Vol. 10, No. 4. — P. 98–112.

П.А.Кожобекова*, **З.Н.Халкулова**, **Ж.Д. Изтаев**, **А.Т.Калбаева**, **А.Н.Жаксанова**
к.т.н., доцент, pernesh-63@mail.ru, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
магистрант, khalkulova25@icloud.com, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.п.н., ассоциированный профессор, zhalgasbek71@mail.ru, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., ассоциированный профессор, atkalbaeva@mail.ru, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., старший преподаватель, zh-ainur@mail.ru, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

Аннотация

В статье рассматривается оценка экономической эффективности внедрения информационных систем электронного документооборота (СЭД) в организациях. Рассматриваются количественные и качественные показатели, позволяющие измерить влияние внедрения СЭД на ускорение

документооборота, снижение затрат на бумажные документы, сокращение времени поиска и согласования документов, повышение исполнительской дисциплины и оптимизацию бизнес-процессов. Предложены методы сбора данных для расчета экономии рабочего времени и ресурсов, включая прямые измерения и экспертные оценки. Анализируются интеграция СЭД с существующими информационными системами и охват сотрудников. В работе показано, что оценка эффективности внедрения СЭД является ключевым инструментом для принятия управленческих решений, планирования дальнейшей цифровизации и повышения производительности организации, а также для подтверждения экономической целесообразности проектов внедрения информационных технологий.

Ключевые слова: Электронный документооборот, информационные системы, экономическая эффективность, управление проектами

Р.А. Kozhabekova*, Z.N. Khalkulova, J.D. Iztayev, A.T. Kalbaeva, A.N. Zhaxanova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, perlesh-63@mail.ru, M. Auezov SKU,
Shymkent, Kazakhstan

Master's student, khalkulova25@icloud.com, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, zhalgasbek71@mail.ru, M. Auezov SKU,
Shymkent, Kazakhstan

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, atkalbaeva@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent,
Kazakhstan

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, zh-ainur@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent,
Kazakhstan

INFORMATION TECHNOLOGIES IN DOCUMENT MANAGEMENT: EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT

Abstract

The article considers the assessment of the economic efficiency of the introduction of electronic document management information systems (EDMS) in organizations. Quantitative and qualitative indicators are considered to measure the impact of the introduction of EDMS on speeding up document flow, reducing the cost of paper documents, reducing the time required to search and approve documents, increasing executive discipline and optimizing business processes. Methods of data collection for calculating savings in working time and resources, including direct measurements and expert assessments, are proposed. The integration of EDMS with existing information systems and the coverage of employees are analyzed. The paper shows that the assessment of the effectiveness of the implementation of EDMS is a key tool for making managerial decisions, planning further digitalization and increasing the productivity of the organization, as well as to confirm the economic feasibility of information technology implementation projects.

Keywords: electronic document management, information systems, economic efficiency, project management

П.А.Кожобекова*, М.А. Сыздыкова, О.М. Сүлеймен, Ж.Д. Изтаев

т.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистрант, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистр, оқытушы, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: pernesh-63@mail.ru

ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ ЛАСТАНУДЫ НАҚТЫ УАҚЫТ РЕЖИМІНДЕ МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

Түйін

Мақалада үлкен деректерді (Big Data) өңдеу технологияларын пайдалану арқылы атмосфералық ауаның ластануын нақты уақыт режимінде мониторингтеу және болжау жүйесін құру мәселелері қарастырылады. Жүйенің деректерді жинау, тасымалдау, сақтау, өңдеу және визуализациялау кезеңдерінен тұратын архитектурасы сипатталады. Сенсорлар арқылы алынған экологиялық деректерді өңдеуде Apache Kafka және Apache Spark секілді бөлінген есептеу платформаларының тиімділігі талданады. Сонымен қатар машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы ауа сапасының өзгерісін алдын ала болжау мүмкіндіктері LSTM, Random Forest, XGBoost, LightGBM және гибриді CNN-RNN модельдерінің нәтижелері негізінде көрсетіледі. Жұмыста экологиялық мониторинг жүйелерінің қоршаған ортаның жай-күйін бақылаудағы маңызы айқындалып, атмосфералық ластанудың адам денсаулығына әсерін азайтудағы рөлі қарастырылады. Қазақстан жағдайында мұндай интеллектуалды жүйелерді енгізудің экологиялық қауіпсіздікті арттырудағы, деректерді жедел талдаудағы және басқарушылық шешімдер қабылдаудағы практикалық маңыздылығы негізделеді.

Кілттік сөздер: үлкен деректер, атмосфералық ластану, нақты уақыттағы мониторинг, машиналық оқыту, PM2.5, Apache Spark, Apache Kafka.

Кіріспе. Атмосфералық ауаның ластануы адам денсаулығына, экожүйеге және климатқа тікелей әсер ететін қазіргі заманғы экологиялық қауіпсіздіктің өзекті мәселелерінің біріне айналып отыр. Әсіресе өнеркәсіптік аймақтар мен мегаполистерде ауа сапасының төмендеуі экологиялық қауіптердің артуына себеп болады. Ауадағы PM2.5, PM10, CO, SO₂ және NO₂ секілді зиянды заттардың концентрациясы тыныс алу жүйесі ауруларының көбеюіне ықпал етеді [1]. Қалалық ортадағы атмосфералық ластанудың негізгі көздеріне жылу-электр станциялары, өнеркәсіптік кәсіпорындар, автокөлік ағыны және тұрмыстық қыздыру жүйелері жатады.

Қазақстан Республикасының ірі қалаларында географиялық орналасуы, температуралық инверсия және өндірістік қызметтің әсерінен қыс мезгілінде PM2.5 концентрациясы Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы (ДДҰ) ұсынған шектен бірнеше есе асып түседі. Мысалы, Астана қаласында бұл көрсеткіш ДДҰ нормаларынан 19,8 есеге, ал Қарағанды қаласында 20,5 есеге дейін асқан жағдайлар тіркелген [2]. Мұндай жоғары ластану халықтың денсаулығына ауыр салдарлар әкеліп, тыныс алу жүйесі мен жүрек-қан тамыры ауруларының өсуіне себеп болады.

Дәстүрлі мониторинг жүйелері негізінен мемлекеттік стационарлық станцияларға негізделген, олардың саны шектеулі және кеңістіктік қамтуы төмен. Бұл олқылықтарды жою үшін соңғы жылдары бұлттық есептеулер мен Big Data технологиялары қолданысқа енгізілуде. Бұл шешімдер ауа сапасы туралы деректерді жоғары ажыратымдылықпен, нақты уақыт режимінде жинауға және өңдеуге мүмкіндік береді [3]. Қазіргі заманғы зерттеулерде атмосфералық ластануды бағалаудың бірнеше тәсілі ұсынылған: спутниктік деректерді қолдану, физикалық-химиялық модельдеу және сенсорлық желілерге негізделген бақылау.

Дегенмен осы тәсілдердің ішінде нақты уақыт режиміндегі мониторингте Big Data технологияларын біріктіру ең перспективалы бағыт ретінде көрсетіліп отыр, өйткені Big Data платформалары үлкен көлемдегі деректерді кідіріссіз өңдеуге мүмкіндік береді [4].

Осы мақаланың мақсаты - атмосфералық ластануды нақты уақыт режимінде мониторингтеу үшін Big Data технологиялары мен машиналық оқыту әдістерін біріктіретін жүйенің құрылымдық моделі мен компоненттерін талдау, оның негізгі қабаттарын анықтау және болжау дәлдігін бағалау бойынша ұсынымдарды қалыптастыру болып табылады.

Материалдар мен әдістер.

Үлкен деректерге негізделген нақты уақыттағы мониторинг жүйесінің архитектурасы өзара байланысты төрт негізгі қабаттан тұрады: деректерді жинау, тасымалдау, өңдеу және визуализациялау. Әрбір қабат белгілі бір функционалдық міндетті орындайды және жалпы жүйенің кідіріссіз әрі сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Зерттеуде осы архитектураны құрайтын компоненттер мен технологиялар салыстырмалы түрде талданады.

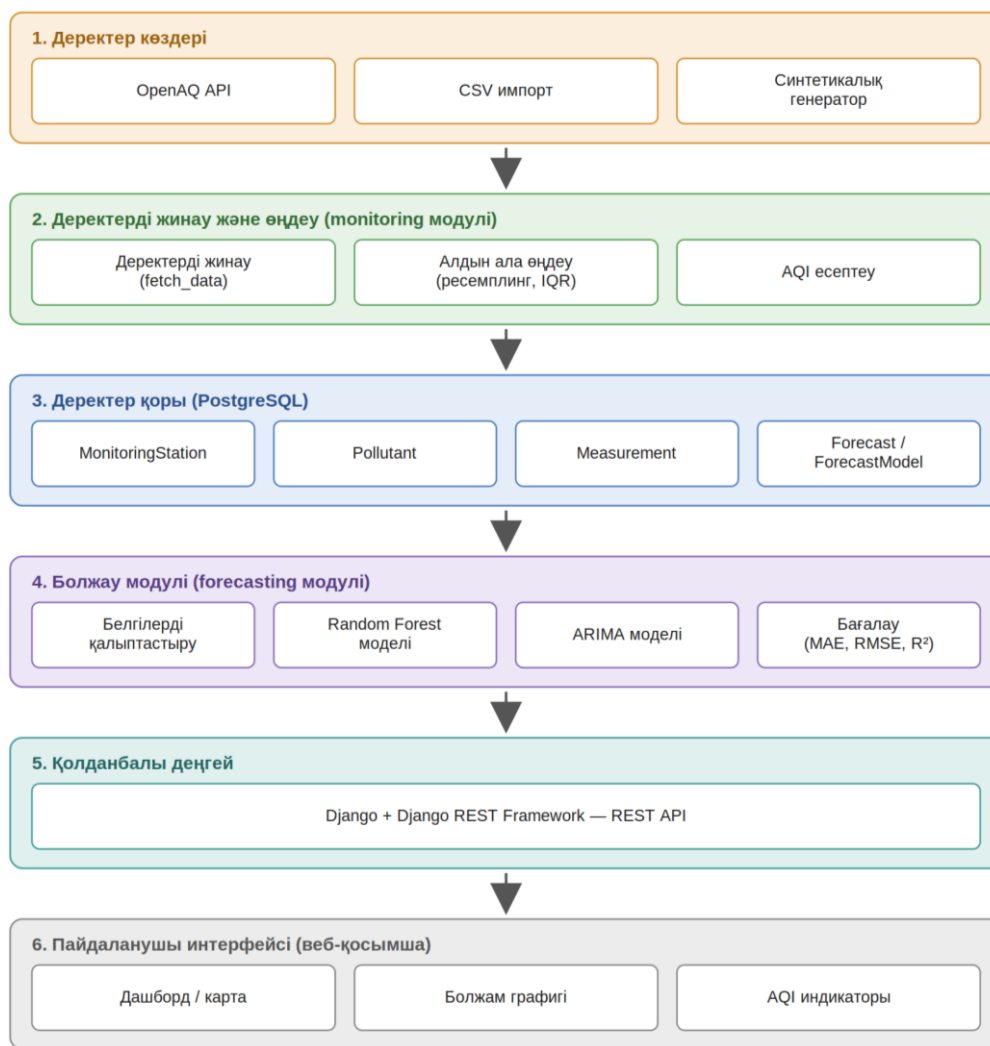
Деректерді жинау қабаты. Бұл деңгейде қала аумағында орналастырылған сенсорлар PM2.5, PM10, CO, NO₂, SO₂, O₃ сияқты ластаушы заттардың концентрациясын, сондай-ақ температура, ылғалдылық және атмосфералық қысым секілді метеорологиялық параметрлерді өлшейді. Соңғы зерттеулерде ESP8266 NodeMCU, Raspberry Pi және Arduino секілді микроконтроллерлерге негізделген арзан, бірақ тиімді сенсорлық құрылғылар жасалған. Олар Wi-Fi немесе GSM желілері арқылы өлшеу деректерін орталық серверге жібереді.

Деректерді тасымалдау қабаты. Сенсорлардан түскен ағынды деректерді өңдеу үшін Apache Kafka секілді брокерлік платформа қолданылады. Kafka жоғары өткізу қабілеті мен төмен кідіріспен қамтамасыз етеді және секундына миллиондаған хабарламаны өңдей алады. Құрылғылар мен серверлер арасындағы байланыс үшін MQTT протоколы тиімді қолданылады, өйткені ол шектеулі ресурсы бар құрылғыларда жұмыс істеуге арналған.

Деректерді өңдеу қабаты. Apache Spark Streaming платформасы деректерді жадыда параллельді өңдеуге мүмкіндік береді, бұл нақты уақыт режимінде талдау жасауға қажет. Деректерді алдын ала өңдеу, шуылдан тазалау, нормализациялау және ерекшеліктерді шығару (feature engineering) осы кезеңде жүзеге асырылады. Бөлінген файлдық жүйе ретінде HDFS немесе бұлттық қоймалар (Amazon S3, Google Cloud Storage) қолданылады.

Талдау және визуализациялау қабаты. Өңделген деректер машиналық оқыту модельдерімен талданып, нәтижелер веб-интерфейс және мобильді қосымшалар арқылы пайдаланушыларға жеткізіледі. Grafana, Kibana және Apache Zeppelin сияқты құралдар көрнекі панельдерді (dashboard) жасауға мүмкіндік береді. Бұл шешім қабылдаушы мемлекеттік органдар мен халыққа ауа сапасы туралы өзекті ақпаратты жеделдетіп жеткізеді.

Атмосфералық ластану деңгейін болжау үшін машиналық оқыту мен терең оқыту әдістері қолданылды. Модельдерді бағалау кезінде уақыттық қатарлы деректер пайдаланылып, болжау дәлдігі детерминация коэффициенті (R^2) және орташа квадраттық қателік (MSE) сияқты көрсеткіштер арқылы өлшенді. Талдау барысында жеке базалық модельдер (сызықтық регрессия, Random Forest), терең оқыту архитектуралары (LSTM, CNN-RNN) және ансамбльдік алгоритмдер (Gradient Boosting, AdaBoost, XGBoost, LightGBM) салыстырылып, олардың ауа сапасы көрсеткіштерін болжаудағы тиімділігі бағаланды. Жүйенің жалпы құрылымдық моделі мен қабаттарының өзара байланысы (1-суретте берілген).



Сурет 1 - Үлкен деректерге негізделген нақты уақыттағы атмосфералық мониторинг жүйесінің архитектурасы

Үлкен деректерге негізделген нақты уақыттағы атмосфералық мониторинг жүйесінің архитектурасы - бұл атмосфералық параметрлерді (ауа сапасы, температура, ылғалдылық, қысым, ластаушы газдар, PM2.5/PM10 және т.б.) үздіксіз жинап, өңдеп, талдап және визуализация жасайтын күрделі көпқабатты жүйе.

Нәтижелер мен талқылау. Зерттеу әдістері ретінде ғылыми дереккөздерді талдау, заманауи сенсорлық және есептеу платформаларын салыстыру, сондай-ақ түрлі машиналық оқыту модельдерінің нәтижелерін жинақтап бағалау қолданылады.

Бұл зерттеудің нәтижелері экологиялық мониторинг жүйелерін жобалаумен айналысатын мемлекеттік органдар, ғылыми мекемелер және ақпараттық технология компаниялары үшін пайдалы болуы мүмкін, өйткені олар жүйенің техникалық құрылымын объективті бағалауға және нақты қалалық жағдайларға байланысты енгізу процесін бейімдеуге мүмкіндік береді.

Жүргізілген талдау атмосфералық ластануды болжауда машиналық оқыту мен терең оқыту әдістерінің жоғары тиімділік көрсететінін айқындады. Өртүрлі зерттеулерде алынған нәтижелер модельдің таңдалуы, кіріс деректердің сапасы мен болжанатын параметрдің сипатына байланысты дәлдіктің елеулі түрде өзгеретінін көрсетеді.

Ramadan және басқа авторлардың зерттеуінде өнеркәсіптік ортада сенсорлардан

жиналған деректер LSTM (Long Short-Term Memory), Random Forest және сызықтық регрессия модельдерімен өңделген. Нәтижесінде LSTM моделі температура мен ылғалдылықты болжауда $R^2 = 99\%$ мәніне жеткен, ал PM2.5 болжамында Random Forest моделі ең жоғары дәлдік көрсеткен ($R^2 = 84\%$). Бұл нәтиже метеорологиялық параметрлер мен бөлшектік ластану үшін әртүрлі модельдердің қажет болуын және IoT мен жасанды интеллектті біріктірудің практикалық тиімділігін көрсетеді.

Alrashidi және басқа авторлар жүргізген зерттеуде 12 мониторинг станциясынан жиналған уақыттық қатарлы деректерге сегіз түрлі регрессиялық машиналық оқыту моделі сыналған. Gradient Boosting және AdaBoost ансамбльдік алгоритмдері PM2.5 ауа сапасы индексі болжауда ең төмен квадраттық қателікке ($MSE < 1,5$) қол жеткізген [5]. Бұл нәтиже ансамбльдік модельдердің жеке базалық модельдерден гөрі тиімдірек екенін және бірнеше әлсіз болжаушыны біріктіру арқылы дәлдікті арттыруға болатынын дәлелдейді.

Терең оқыту бағытында конволюциялық нейрон желілері (CNN) мен рекуррентті нейрон желілерінің (RNN) гибриді архитектуралары ерекше орын алады. Utku және басқалардың зерттеуінде үш ел үшін (Үндістан, Италия, Германия) PM2.5 концентрациясын болжайтын CNN-RNN гибриді моделі жасалған. Бұл модель кеңістіктік ерекшеліктер мен уақыттық тәуелділіктерді бірге ескере отырып, дәстүрлі әдістермен салыстырғанда жоғары дәлдікке қол жеткізген [6]. Осылайша гибриді архитектуралар күрделі кеңістіктік-уақыттық деректерді өңдеуде айрықша тиімді болып табылады.

Алматы қаласының жағдайында Найзабаева және басқалардың зерттеуі айрықша назар аударады. Аталған жұмыста STL (Seasonal-Trend Decomposition using Loess) декомпозициясы, XGBoost және LightGBM модельдерінің ансамбльдік комбинациясы қолданылған. 20-дан астам мониторинг станциясынан алынған сағаттық деректер негізінде модель PM2.5 үшін $R^2 = 0,98$ -ден жоғары, ал CO үшін $R^2 = 0,83$ нәтижесін көрсеткен. Бұл нәтиже маусымдық және трендік құрауыштарды бөліп алу мен ансамбльдік алгоритмдерді біріктіру күрделі қалалық ортада болжау дәлдігін айтарлықтай арттыратынын дәлелдейді әрі әдістеме нақты уақыттағы ауа сапасын мониторингтеу мен ескерту жүйелерінде қолдануға жарамды деп бағаланған.

Алынған нәтижелерді салыстыру модель тиімділігінің бірнеше факторға тәуелді екенін көрсетеді. Біріншіден, болжанатын параметрдің сипаты маңызды: метеорологиялық көрсеткіштер (температура, ылғалдылық) тұрақты заңдылықтарға бағынатындықтан жоғары дәлдікпен болжанса, PM2.5 секілді бөлшектік ластану көздердің көптүрлілігіне байланысты болжау қиынырақ болады. Екіншіден, ансамбльдік әдістер мен декомпозиция тәсілдерін біріктіру жеке модельдермен салыстырғанда тұрақты түрде жоғары нәтиже береді. Үшіншіден, кіріс деректердің кеңістіктік және уақыттық ажыратымдылығы неғұрлым жоғары болса, болжам сапасы соғұрлым артады.

Сонымен қатар жүйенің практикалық тиімділігі тек модельдің дәлдігімен ғана емес, сондай-ақ деректерді жинау мен өңдеу инфрақұрылымының сапасымен анықталады. Apache Kafka мен Apache Spark Streaming платформаларын қолдану үлкен көлемдегі ағынды деректерді кідіріссіз өңдеуге мүмкіндік беретіндіктен, болжау нәтижелерін нақты уақыт режимінде алуға және халыққа жедел ескерту жасауға жол ашады. HDFS пен бұлттық қоймалар тарихи деректерді ұзақ мерзімді сақтауды қамтамасыз етіп, модельдерді қайта оқыту мен жетілдіруге негіз қалайды.

Талдау нәтижелері Қазақстан үшін атмосфералық ауаның сапасы өткір мәселе болып табылатынын растайды. 2021 жылы елдің жалпы шығарындысы 2,4 миллион тоннаны құраған, оның негізгі бөлігі Орталық өңірден шыққан. Ірі қалалардағы ауа сапасының деңгейі ДДҰ нормаларынан бірнеше есе асып түседі. Алматы қаласындағы зерттеулер ауа ластануының тыныс алу аурулары ($r = 0,97$) және өлім-жітім көрсеткіштерімен жоғары корреляцияда болатынын дәлелдеген. Бұл деректер интеллектуалды мониторинг жүйелерін енгізудің денсаулық сақтау тұрғысынан өзектілігін көрсетеді.

Осы жағдайда Big Data технологияларына негізделген нақты уақыттағы мониторинг жүйесін енгізу бірқатар артықшылықтарды ұсынады. Біріншіден, мемлекеттік станциялардың кеңістіктік шектеулерін арзан сенсорлар желісі арқылы өтеуге және қаланың әртүрлі аудандарын біркелкі қамтуға болады. Екіншіден, машиналық оқыту модельдері 1–24 сағат алға болжам жасауға мүмкіндік беріп, ластанудың шарықтау сәттерін алдын ала анықтайды. Үшіншіден, шешім қабылдау процесі автоматтандырылып, халықты ескерту жүйесі жұмыс істей алады. Төртіншіден, тарихи деректерді талдау негізінде ұзақ мерзімді экологиялық саясатты қалыптастыруға ғылыми негіз қаланады.

Дегенмен жүйені енгізуде бірқатар шектеулер мен мәселелерді ескеру қажет. Арзан сенсорлардың өлшеу дәлдігі калибрлеуді талап етеді, ал сенсорлық желінің тұрақты жұмыс істеуі үшін техникалық қызмет көрсету мен энергиямен қамту мәселелерін шешу керек. Сонымен қатар деректердің сапасы мен толықтығы модельдердің болжау дәлдігіне тікелей әсер ететіндіктен, деректерді алдын ала өңдеу мен валидациялау процестеріне ерекше көңіл бөлу қажет. Осы факторларды кешенді түрде ескеру жүйенің практикалық тиімділігін қамтамасыз етеді.

Қорытынды. Атмосфералық ластануды нақты уақыт режимінде мониторингтеу қазіргі заманғы экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің басым бағыттарының бірі болып табылады. Қалалар мен өнеркәсіптік аймақтарда антропогендік факторлардың күшеюі атмосфералық ауаның сапасын үздіксіз бақылау қажеттілігін арттырады, бұл өз кезегінде жоғары өнімді есептеу және деректерді талдау технологияларын қолдануды талап етеді.

Жүргізілген талдау көрсеткендей, үлкен деректерді өңдеу технологияларын (Apache Kafka, Apache Spark, Hadoop Distributed File System – HDFS) сенсорлық желілермен және машиналық оқыту әдістерімен интеграциялау атмосфералық параметрлерді жоғары дәлдікпен өлшеуге, өңдеуге және талдауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, Apache Kafka нақты уақыттағы деректер ағындарын сенімді түрде тасымалдауды қамтамасыз етсе, Apache Spark және Flink осы деректерді ағындық және пакеттік режимде өңдеуге мүмкіндік береді. HDFS тәрізді таратылған сақтау жүйелері үлкен көлемдегі тарихи деректерді сақтауды және оларға масштабталатын қолжетімділікті қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, сенсорлық құрылғылардың кеңейтілген желісі (IoT-based environmental sensors) атмосфералық көрсеткіштерді кеңістіктік және уақыттық тұрғыдан жоғары жиілікте жинауға мүмкіндік береді. Бұл деректер машиналық оқыту алгоритмдерімен (Random Forest, Gradient Boosting, LSTM сияқты модельдер) өңделіп, ластану деңгейін болжау, трендтерді анықтау және аномалияларды ерте кезеңде диагностикалау міндеттерін шешеді.

Жүйенің ұсынылған төрт қабатты архитектурасы деректерді жинау, тасымалдау, сақтау, өңдеу және визуализациялау процестерінің толық циклін қамтиды. Мұндай құрылым модульдік сипатқа ие болғандықтан, жүйенің масштабталуын, икемділігін және сенімділігін арттырады. Әрбір қабат өзара үйлесімді жұмыс істей отырып, нақты уақыт режимінде жоғары өнімді мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді.

Талдау нәтижелері LSTM, Random Forest, XGBoost, LightGBM және гибриді CNN-RNN модельдерінің ауа сапасы көрсеткіштерін болжаудағы жоғары тиімділігін растайды. Әсіресе ансамбльдік әдістер мен STL декомпозициясын біріктіру ($R^2 > 0,98$) күрделі қалалық орталарда, оның ішінде Алматы сияқты бассейндік жерлерде тиімді нәтиже көрсетеді [7].

Сонымен бірге болжау дәлдігінің болжанатын параметрдің сипатына, кіріс деректердің сапасына және модель архитектурасына тәуелді екендігі айқындалды, бұл нақты қолдану жағдайына сәйкес модельді таңдаудың маңыздылығын көрсетеді.

Қазақстан жағдайында мұндай интеллектуалды жүйелерді енгізудің практикалық маңыздылығы ерекше зор. Ірі қалалардағы ауа сапасының ДДҰ нормаларынан бірнеше есе асуы және ауа ластануының тыныс алу аурулары мен өлім-жітім көрсеткіштерімен жоғары корреляциясы ($r = 0,97$) интеллектуалды мониторинг жүйелерін денсаулық сақтау мен

экологиялық саясат тұрғысынан кезек күттірмейтін қажеттілікке айналдырады. Арзан сенсорлар желісі мемлекеттік станциялардың кеңістіктік шектеулерін өтеп, машиналық оқыту модельдері алдын ала ескерту жасауға және ұзақ мерзімді экологиялық шешімдер қабылдауға ғылыми негіз қалайды.

Жүйенің табысты жұмыс істеуі тек техникалық құралдарға ғана емес, сондай-ақ сенсорлық желіні дұрыс калибрлеуге, деректерді сапалы өңдеуге және болжау нәтижелерін шешім қабылдау процесіне тиімді интеграциялауға тәуелді болуында. Деректердің толықтығы мен сенімділігін қамтамасыз ету, инфрақұрылымды техникалық қолдау және модельдерді жүйелі түрде қайта оқыту жүйенің ұзақ мерзімді тиімділігінің кепілі болып табылады.

Болашақта зерттеулерді спутниктік деректерді (Sentinel-5P, MODIS), көлік ағыны мен өнеркәсіптік шығарындылар туралы ақпаратты қосу арқылы кеңейту, сондай-ақ түсіндірілетін жасанды интеллект (Explainable AI) әдістерін енгізу маңызды болып табылады. Түсіндірілетін модельдер болжамдардың негіздемесін айқындап, шешім қабылдаушы органдардың жүйеге деген сенімін арттырады. Мұндай жан-жақты әрі ғылыми негізделген жүйе қалалық ауа сапасын басқару үшін объективті шешімдер қабылдауға және халық денсаулығын сақтауға елеулі үлес қосады.

Алынған нәтижелер үлкен деректерді өңдеу технологияларын қолдану арқылы атмосфералық ластануды нақты уақыт режимінде мониторингтеу жүйесін құру, қазіргі экологиялық мәселелерді шешудегі ең тиімді цифрлық тәсілдердің бірі болып табылады.

Сондықтан мұндай жүйе IoT сенсорларынан, спутниктік деректерден және метеорологиялық станциялардан келетін үлкен көлемдегі гетерогенді деректерді үздіксіз жинап, оларды ағындық өңдеу технологиялары арқылы талдауға мүмкіндік береді.

Нақты уақыттағы деректерді өңдеу (мысалы, Apache Kafka, Apache Flink сияқты құралдар негізінде) атмосфералық жағдайдың өзгерісін бірден анықтап, қауіпті деңгейлерге жедел әрекет етуге жағдай жасайды. Ал машиналық оқыту алгоритмдері ластану деңгейін болжауға, оның таралу динамикасын анықтауға және ықтимал экологиялық тәуекелдерді алдын ала болжауға мүмкіндік береді.

Жүйенің басты артықшылығы - тек бақылаумен шектелмей, деректерге негізделген шешім қабылдауды қолдауында. Визуализация құралдары арқылы алынған ақпарат пайдаланушыларға, экологтарға және мемлекеттік органдарға түсінікті форматта ұсынылып, экологиялық саясатты тиімді жоспарлауға көмектеседі.

Сонымен қатар автоматты ескерту жүйелері ластану деңгейі шектен асқан жағдайда дер кезінде хабар беріп, адам денсаулығына және қоршаған ортаға келетін зиянды азайтуға ықпал етеді.

Қорытындылай келе, үлкен деректер мен нақты уақыттағы аналитиканы біріктіретін атмосфералық мониторинг жүйесі - бұл тек технологиялық шешім ғана емес, сонымен қатар қалалардың экологиялық қауіпсіздігін арттыратын, өмір сапасын жақсартуға бағытталған маңызды құрал. Болашақта мұндай жүйелер жасанды интеллектпен тереңірек интеграцияланып, толық автоматтандырылған «ақылды экологиялық басқару» деңгейіне жетуі мүмкін.

Алғыс

Авторлар қолжазбадағы барлық ақпарат үшін, соның ішінде плагиаттың болмауы, дәйексөздің дәлдігі және жасанды интеллект жасаған жалған фактілердің болмауы үшін жауап береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Темирбеков Н. Оценка негативного воздействия загрязнения городского воздуха на здоровье населения с использованием метода машинного обучения / Н. Темирбеков, М. Темирбекова, Д. Тамабай, С. Касенов, С. Аскаров, З. Туkenова // Международный журнал

- экологических исследований и общественного здравоохранения. - 2023. - Том 20, № 18. - Статья 6770. - DOI: 10.3390/ijerph20186770.
2. Тасмурзаев Н. Недорогой IoT-датчик и предварительное технико-экономическое обоснование машинного обучения для мониторинга качества воздуха в салоне самолета: Пилотный пример из Алматы / Н. Тасмурзаев, Б. Амангельды, Г. Смагулова, З. Байгараева, А. Имаш // Датчики. - 2025. - Том 25, № 14. - Артикул 4521. - DOI: 10.3390/s25144521.
3. Гуйе А. Недорогая система мониторинга загрязнения окружающей среды в режиме реального времени на основе Интернета вещей с использованием ESP8266 NodeMCU / А. Гуйе, М.С. Дrame, С.А.А. Нианг // Измерение и контроль.-2024.-DOI: 10.1177/00202940241306690.
4. Рамадан М.Н.А. Система искусственного интеллекта на базе Интернета вещей для мониторинга и прогнозирования загрязнения воздуха в промышленной среде в режиме реального времени / М.Н.А. Рамадан, М.А.Х. Али, С.Ю. Ху, М. Альхедер, М. Альхербави // Экоотоксикология и экологическая безопасность. - 2024. - Том 283.- Статья 116856. - DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116856.
5. Альрашиди Х. PM2.5: Прогнозирование индекса качества воздуха с использованием машинного обучения: данные станций мониторинга качества воздуха Кувейта / Х. Альрашиди, Ф.Н. Сибай, А. Абонама, М. Альрашиди, А. Альсабер // Устойчивое развитие. - 2025. - Том 17, № 20. - Статья 9136. - DOI: 10.3390/su17209136.
6. Утку А. Усовершенствованный мониторинг качества воздуха: гибридная модель CNN-RNN на основе глубокого обучения для прогнозирования PM2,5 / А. Утку, У. Кан, М. Альпсюлюн, Х.С. Балыкчи, А. Амузегар, А. Пилатин, А. Барут // Атмосфера. - 2025. — Том 16, № 9. - Статья 1003. - DOI: 10.3390/atmos16091003.
7. Найзабаева Л. Прогнозирование загрязнения воздуха в Алматы с использованием моделей машинного обучения Ensemble / Л. Найзабаева, Г. Сембина, А. Алиман, М. Сатымбеков, Н. Барлыкбай, Н. Сеилова // Журнал прикладных наук о данных. - 2025. - Том 6, № 4. - С. 2461-2476. - DOI: 10.47738/jads.v6i4.821.

References

1. Temirbekov N. Assessment of the Negative Impact of Urban Air Pollution on Population Health Using Machine Learning Method / N. Temirbekov, M. Temirbekova, D. Tamabay, S. Kasenov, S. Askarov, Z. Tukenova // International Journal of Environmental Research and Public Health. - 2023. - Vol. 20, No. 18. - Article 6770. - DOI: 10.3390/ijerph20186770.
2. Tasmurzayev N. A Low-Cost IoT Sensor and Preliminary Machine-Learning Feasibility Study for Monitoring In-Cabin Air Quality: A Pilot Case from Almaty / N. Tasmurzayev, B. Amangeldy, G. Smagulova, Z. Baigarayeva, A. Imash // Sensors. - 2025. - Vol. 25, No. 14. — Article 4521. - DOI: 10.3390/s25144521.
3. Gueye A. A low-cost IoT-based real-time pollution monitoring system using ESP8266 NodeMCU / A. Gueye, M.S. Drame, S.A.A. Niang // Measurement and Control. - 2024. - DOI: 10.1177/00202940241306690.
4. Ramadan M.N.A. Real-time IoT-powered AI system for monitoring and forecasting of air pollution in industrial environment / M.N.A. Ramadan, M.A.H. Ali, S.Y. Khoo, M. Alkhedher, M. Alherbawi // Ecotoxicology and Environmental Safety. — 2024. - Vol. 283. - Article 116856. - DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116856.
5. Alrashidi H. PM2.5: Air Quality Index Prediction Using Machine Learning: Evidence from Kuwait's Air Quality Monitoring Stations / H. Alrashidi, F.N. Sibai, A. Abonamah, M. Alrashidi, A. Alsaber // Sustainability. - 2025. - Vol. 17, No. 20. - Article 9136. - DOI: 10.3390/su17209136.

6. Utku A. Advancing Air Quality Monitoring: Deep Learning-Based CNN-RNN Hybrid Model for PM2.5 Forecasting / A. Utku, U. Can, M. Alpsülün, H.C. Balıkçı, A. Amoozegar, A. Pilatin, A. Barut // Atmosphere. - 2025. - Vol. 16, No. 9. - Article 1003. - DOI: 10.3390/atmos16091003.
7. Naizabayeva L. Air Pollution Forecasting in Almaty using Ensemble Machine Learning Models / L. Naizabayeva, G. Sembina, A. Aliman, M. Satymbekov, N. Barlykbay, N. Seilova // Journal of Applied Data Sciences. - 2025. - Vol. 6, No. 4. - P. 2461–2476. - DOI: 10.47738/jads.v6i4.821.

П.А.Кожобекова*, М.А. Сыздыкова, О.М. Сулеймен, Ж.Д. Изтаев

к.т.н., доцент, pernesh-63@mail.ru, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
магистрант, Ms.syzdykova@gmail.com, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
магистр, преподаватель, jasiksuleimen42@gmail.com, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент,
Казахстан

к.п.н., ассоциированный профессор, zhalgasbek71@mail.ru, ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент,
Казахстан

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы создания системы мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха в режиме реального времени с использованием технологий обработки больших данных (Big Data). Описывается архитектура системы, состоящая из этапов сбора, передачи, хранения, обработки и визуализации данных. Анализируется эффективность распределенных вычислительных платформ, таких как Apache Kafka и Apache Spark, при обработке экологических данных, полученных с помощью датчиков. Кроме того, возможности прогнозирования изменений качества воздуха с помощью алгоритмов машинного обучения демонстрируются на основе результатов LSTM, Random Forest, XGBoost, LightGBM и гибридных моделей CNN-RNN. В работе определено значение систем экологического мониторинга в контроле состояния окружающей среды и рассмотрена роль атмосферного загрязнения в снижении воздействия на здоровье человека. В условиях Казахстана обосновывается практическая значимость внедрения таких интеллектуальных систем в повышении экологической безопасности, оперативном анализе данных и принятии управленческих решений.

Ключевые слова: большие данные, загрязнение воздуха, мониторинг в реальном времени, машинное обучение, PM2.5, Apache Spark, Apache Kafka.

P.A.Kozhabekova*, M.A. Syzdykova, O.M. Suleimen, J.D. Iztayev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, pernesh-63@mail.ru, M.Auezov SKU,
Shymkent, Kazakhstan

Master's student, Ms.syzdykova@gmail.com, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Master, Lecturer, jasiksuleimen42@gmail.com, M. Auezov SKU, Kazakhstan

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, zhalgasbek71@mail.ru, M.Auezov SKU,
Shymkent, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME ATMOSPHERIC POLLUTION MONITORING SYSTEM USING BIG DATA PROCESSING TECHNOLOGIES

Abstract

The article discusses the issues of creating a system for monitoring and forecasting atmospheric air pollution in real time using big data processing technologies (Big Data). The architecture of the system is described, consisting of the stages of data collection, transmission, storage, processing and visualization. When

processing environmental data obtained using sensors, the effectiveness of distributed computing platforms such as Apache Kafka and Apache Spark is analyzed. In addition, the possibilities of predicting changes in air quality using machine learning algorithms are demonstrated based on the results of hybrid models LSTM, Random Forest, XGBoost, LightGBM and CNN-RNN. The paper defines the importance of environmental monitoring systems in controlling the state of the environment and examines the role of atmospheric pollution in reducing the impact on human health. The practical significance of the introduction of such intelligent systems in improving environmental safety in Kazakhstan, operational data analysis and management decision-making is substantiated.

Keywords: Big Data, atmospheric pollution, real-time monitoring, machine learning, PM2.5, Apache Spark, Apache Kafka.

Т.Д. Кузержбаева*, С.Д. Куракбаева, Ж.Д. Изтаев, Г.К. Тагай

магистрант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

к.т.н., профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

к.п.н., ассоциированный профессор, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

магистр, старший преподаватель, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

* Автор для корреспонденции: totykuzerbayeva@gmail.com

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЕГМЕНТАЦИИ РЫНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIG DATA ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО МАРКЕТИНГА

Аннотация

В данном исследовании обоснован выбор стек технологий Big Data (Apache Spark, Parquet, Kafka, MLflow) для обеспечения масштабируемости и воспроизводимости. Предложена гибридная лямбда-архитектура, поддерживающая как пакетную, так и потоковую обработку событий. На синтетическом датасете, имитирующем поведение пользователей стриминговой платформы, проведены эксперименты по сегментации с использованием методов K-Means и DBSCAN. Построены комплексные признаки, включающие RFM-метрики, поведенческие и темпоральные характеристики. Качество кластеризации оценено с использованием метрик силуэта и Калински-Харабаса. Результатом является функционирующий прототип, который автоматизирует этапы от приема сырых событий до формирования интерпретируемых сегментов с рекомендациями по их использованию в персонализированных маркетинговых кампаниях. Практическая значимость работы заключается в демонстрации подхода, позволяющего снизить стоимость контакта и повысить CTR/CVR за счет более точного таргетирования.

Ключевые слова: Big Data, сегментация рынка, персонализированный маркетинг, кластеризация, RFM-анализ.

Введение. Цифровая трансформация маркетинга обусловила переход от массовых коммуникаций к гиперперсонализации, что требует глубокого понимания поведения каждого потребителя. В предыдущей работе [1] был проведен обзор особенностей, технологий и вызовов при построении интеллектуальных систем сегментации на основе Big Data. Определены ключевые проблемы: работа с высокоскоростными потоками данных (velocity), обеспечение конфиденциальности (veracity), масштабируемость алгоритмов (volume) и необходимость обработки разнородной информации (variety). Однако ранее наше исследование не затрагивало вопросы практической реализации.

Актуальность работы обусловлена потребностью бизнеса, в том числе малых и средних предприятий, стремящихся использовать технологии больших данных, в тиражируемых и экономичных архитектурных решениях. Целью исследования является создание воспроизводимого прототипа пайплайна интеллектуальной сегментации, от приема данных до генерации сегментов, с открытым кодом и четкой методологией, что составляет научную новизну. Практическая значимость заключается в снижении операционных затрат на маркетинг за счет автоматизации сегментации и повышении эффективности кампаний через точное таргетирование, что в перспективе ведет к росту конверсии (CVR) и кликабельности (CTR).

Постановкой задачи является разработка архитектуры и реализация прототипа системы, которая на основе потоковых и накопленных пользовательских данных в масштабах, характерных для крупной цифровой платформы (аналогично Netflix, Spotify), автоматически

выделяет устойчивые поведенческие сегменты для последующей персонализации контента и рекламных коммуникаций.

В современной литературе по цифровому маркетингу сегментация рассматривается как ключевой механизм гиперперсонализации. Котлер, Картаджайя и Сетиауан в концепции Marketing 5.0 акцентируют переход к data-driven маркетингу, где ценность создается за счет точного понимания потребностей и контекста клиента на основе данных и ИИ [2]. Систематический обзор Gupta и соавт. фиксирует рост применения машинного обучения в маркетинге (в том числе кластеризации для сегментирования), однако подчеркивает дефицит воспроизводимых инженерных решений, связывающих алгоритмы с бизнес-метриками и процессами принятия решений. На уровне методов прикладные исследования предлагают расширения классических поведенческих моделей: например, Rungtuan и соавт. показывают развитие RFM-подхода для устойчивой кластеризации клиентов, а Rodrigues и соавт. систематизируют NLP-ориентированное сегментирование на основе текстовых и событийных данных. [3]

С инженерной точки зрения, исследователи отдельно подчеркивают роль потоковой обработки и оперативного принятия решений. Jabbar, Akhtar и Dani рассматривают real-time обработку больших данных как основу «моментального» маркетинга и отмечают, что задержки обработки пользовательских событий снижают эффект таргетинга и персонализации. Для масштабируемой аналитики и построения распределенных пайплайнов часто используется Apache Spark; практическое руководство Damji и соавт. описывает подходы к обработке больших данных и построению ML-контура в распределенной среде [4-5].

Отдельный пласт работ связан с внедрением моделей и управлением жизненным циклом. Chen и соавт. описывают MLflow как платформу, поддерживающую воспроизводимость (tracking экспериментов), версионирование артефактов и регистрацию моделей, что снижает риски разрыва между исследовательским кодом и эксплуатацией; эти практики закреплены и в официальной документации MLflow [6-7]. Для оркестрации задач (ETL, обучение, переобучение и плановые пересчеты) широко применяется Apache Airflow. Практико-ориентированные исследования на русском языке также подчеркивают, что бизнес-ценность Big Data в маркетинге достигается только при наличии сквозной архитектуры интеграции данных, контроля качества и измерения эффекта кампаний [8].

Таким образом, существующие работы детально раскрывают отдельные аспекты (методы сегментации, потоковую аналитику, MLOps), но реже предоставляют целостный, воспроизводимый прототип «от данных до сегментов», ориентированный на масштабы крупной цифровой платформы и учитывающий конфиденциальность, интерпретируемость и эксплуатационные ограничения [9]. Научная новизна настоящей работы заключается в проектировании и реализации открытого end-to-end прототипа пайплайна интеллектуальной сегментации: прием потоковых и накопленных данных, их стандартизация и контроль качества, обезличивание идентификаторов на ранних этапах, формирование признаков и автоматическое выделение устойчивых поведенческих сегментов с последующей визуализацией результатов в веб-интерфейсе. Такой формат делает решение тиражируемым и пригодным для практического внедрения при ограниченных ресурсах, сохраняя ориентацию на масштабы, характерные для крупных цифровых платформ.

Методы исследования. В основе работы лежит комбинация инженерных и аналитических методов, направленных на создание воспроизводимого пайплайна сегментации. Для имитации реальных условий использован синтетический датасет, генерирующий поведенческие события пользователей VoD-платформы. Архитектурной основой выбрана гибридная лямбда-схема, обеспечивающая как пакетную, так и потоковую обработку данных. Применены методы предобработки данных, включая дедупликацию,

обработку пропусков и выбросов, а также масштабирование признаков. Для сегментации сравнивались алгоритмы кластеризации K-Means и DBSCAN, качество которых оценивалось с помощью внутренних метрик (силуэт, Калински–Харабас, Дэвис–Болдин). Визуализация и интерпретация сегментов выполнены с использованием веб-интерфейса, взаимодействующего с бэкендом через REST API. Все этапы пайплайна оркестрированы с помощью Apache Airflow, а эксперименты зафиксированы в MLflow для обеспечения воспроизводимости.

Результаты и обсуждение

Для эффективного хранения структурированных и неструктурированных данных используются различные решения, которые относятся к третьему этапу и включают в себя: NoSQL-базы данных (MongoDB, Cassandra, Redis) – позволяют хранить большие объёмы данных в удобном формате, обеспечивая высокую скорость чтения и записи; реляционные базы данных (PostgreSQL, MySQL, Microsoft SQL Server) – используются для хранения структурированных данных, если система требует строгих связей между таблицами; облачные хранилища (AWS S3, Google Cloud Storage, Azure Blob Storage) – масштабируемые и отказоустойчивые решения, обеспечивающие безопасное хранение данных и быстрый доступ из любой точки мира; Data Lake и Data Warehouse (Amazon Redshift, Google BigQuery, Snowflake) – используются для хранения больших массивов данных, подготовки их к аналитике и машинному обучению. Выбор хранилища зависит от типа данных, требуемой скорости обработки и масштаба проекта.

Для прототипирования используется синтетический датасет, который имитирует логи поведения пользователей на VoD-платформе (Video on Demand). Такой выбор позволяет избежать этических и юридических рисков, связанных с обработкой персональных данных, и одновременно обеспечивает полную воспроизводимость эксперимента: любой исследователь может повторить запуск, не сталкиваясь с ограничениями доступа к релевантным данным. Внутри набора данных моделируются ключевые сущности, характерные для цифровых платформ: поток событий пользователей (например, воспроизведение, пауза, поиск, клики по баннерам и покупка подписки), таблица транзакций с фактами платежей, профиль пользователя, который формируется на основе агрегирования активности за исторический период, а также справочник контента с метаданными видео (жанр, длительность, год релиза), необходимыми для интерпретации потребительских интересов [10].

На следующем этапе реализуется предобработка и контроль качества данных, потому что даже синтетические логи должны имитировать реалистичные искажения данных, с которыми сталкивается бизнес. На этом шаге выполняется дедупликация событий, чтобы убрать повторные записи и снизить искажения при расчёте метрик поведения. Пропущенные значения обрабатываются по типу признаков: категориальные поля заполняются нейтральным значением вроде unknown, а числовые — устойчивыми оценками, например медианой (в практических кейсах это снижает влияние единичных аномалий). Для финансовых показателей дополнительно применяется обработка выбросов, поскольку расходы пользователей часто имеют тяжелые хвосты; в прототипе используется подход на основе межквартильного размаха (IQR), который хорошо работает без предположений о нормальности распределения.

Затем выполняется построение признаков (feature engineering) для сегментации. Для каждого обезличенного пользователя за фиксированный исторический интервал (например, 90 дней) формируется вектор признаков, который отражает как классическую маркетинговую модель RFM, так и поведенческие особенности потребления контента. Помимо Recency, Frequency и Monetary, добавляются характеристики сессий и взаимодействий с платформой: средняя длительность сессии, доля завершённых просмотров, разнообразие интересов через число уникальных жанров, частота использования поиска и другие паттерны вовлечённости.

Отдельно учитываются временные закономерности активности — например, склонность к просмотрам утром или вечером и распределение активности по дням недели. Чтобы признаки были сопоставимы и корректно работали в алгоритмах кластеризации, они масштабируются с помощью стандартной нормализации (StandardScaler)[11].

В прототипе сравниваются два подхода к сегментации. Первый — K-Means, широко используемый центроидный метод, который эффективен при достаточно “компактных” кластерах и хорошо масштабируется на больших данных, но требует заранее задать число кластеров k [10]. Второй — DBSCAN, плотностный метод, который способен находить кластеры произвольной формы и выделять шумовые точки, не требуя явного задания количества кластеров, однако он чувствителен к настройке параметров плотности (ϵ и min_samples) [11]. В качестве перспективного направления рассматривается применение автоэнкодера для нелинейного снижения размерности перед кластеризацией, что может повысить качество сегментов при сложных, нелинейных зависимостях в поведении пользователей.

Качество полученных сегментов оценивается с помощью внутренних метрик кластеризации, которые позволяют измерить компактность и разделимость групп в признаковом пространстве [12]. Для этого применяются Silhouette Score, индекс Калински–Харабаса и индекс Дэвиса–Болдина, поскольку они дают взаимодополняющие оценки структуры кластеров. При этом подчёркивается, что в прикладном маркетинге кластеризация должна подтверждаться не только математически, но и бизнес-эффектом, поэтому дальнейшая работа предполагает проверку полезности сегментов через A/B-эксперименты и измерение uplift по CTR или CVR при персонализации предложений для выделенных групп.

Таблица 1 - Обоснование выбора инструментария

Задача	Инструмент	Обоснование выбора
Язык программирования	Python 3.9+	Де-факто стандарт для DataScience, богатая экосистема библиотек.
Обработка данных (блок)	Pandas, NumPy	Эталонные библиотеки для анализа в памяти на одном узле. Используются для отладки и прототипирования логики.
Обработка BigData	ApacheSpark 3.x (PySpark)	Распределенная вычислительная платформа для обработки больших объемов данных. MLlib предоставляет масштабируемые реализации алгоритмов машинного обучения.
Хранилище (DataLake)	Parquet на S3-совместимом хранилище (MinIO)	Колоночный формат Parquet обеспечивает эффективное сжатие и выборку столбцов. S3-протокол – стандарт для облачных объектных хранилищ. MinIO используется для локального прототипирования.
Потоковый ingestion	ApacheKafka	Высокопроизводительная распределенная потоковая платформа. Используется для приема событий в реальном времени.

Продолжение таблицы 1

Оркестрация пайплайнов	Apache Airflow	Позволяет описывать, планировать и мониторить сложные пайплайны данных в виде направленных ациклических графов (DAG).
Трекинг экспериментов	MLflow	Платформа для управления жизненным циклом машинного обучения: логирование параметров, кода, метрик и артефактов (моделей).
Контейнеризация	Docker	Обеспечивает воспроизводимость среды выполнения, изолируя все зависимости.

В работе предложена лямбда-архитектура, которая объединяет пакетную (batch) и потоковую (stream) обработку, чтобы одновременно сохранять точность на исторических данных и обеспечивать приемлемую задержку при обновлении сегментов. На входе (ingestion) события из источников — логов приложений и транзакционных баз — поступают в Apache Kafka (топик raw-events), что позволяет устойчиво принимать поток данных и отделить источники от последующей обработки. Для пакетной загрузки исторических данных используется прямое размещение в объектном хранилище, чтобы можно было быстро сформировать ретроспективу и не перегружать потоковый контур.

Хранилище организовано как Data Lake с разделением зон данных. Потоковые события через Spark Structured Streaming записываются в “горячую” зону (например, в формате Parquet), а пакетные данные поступают в сырой слой. После очистки и обогащения данные перемещаются в подготовленный слой (curated), который становится основной витриной для построения признаков. Такое разнесение слоев позволяет управлять качеством данных и уменьшать вероятность того, что в моделирование попадут невалидные или неоднородные записи.

Далее работает слой обработки и feature engineering. По расписанию (через Airflow DAG) запускается Spark-задача, которая агрегирует события из подготовленного слоя за выбранный период и вычисляет вектор признаков для каждого пользователя. Полученные признаки сохраняются в feature store, реализованный в виде таблиц внутри того же Data Lake, что упрощает воспроизводимость и снижает стоимость хранения. На следующем этапе запускается моделирование: периодически (например, раз в неделю или месяц) выполняется кластеризация (K-Means/DBSCAN) над актуальной матрицей признаков, а гиперпараметры и метрики качества логируются в MLflow. Обученная модель и сопоставление user_anon_id → segment_id сохраняются как артефакты, чтобы можно было восстановить точную версию сегментации и сравнивать результаты между итерациями.

На слое сервинга предполагается API-сервис (например, на FastAPI), который загружает актуальную модель и маппинг сегментов и предоставляет интерфейс для получения сегмента пользователя по его идентификатору. Результаты сегментации также выгружаются в хранилище аналитики (например, ClickHouse) как атрибут segment_id в профилях пользователей, чтобы аналитики и маркетинговые команды могли строить отчеты и проверять эффект персонализации. Отдельно предусмотрен мониторинг: отслеживаются показатели качества данных (полнота, аномалии), возможный дрейф признаков и прикладные метрики, такие как размеры сегментов и их активность во времени, что важно для контроля стабильности сегментации.

Вопрос безопасности учитывается на ранних этапах пайплайна. Уже на ingestion выполняется обезличивание — исходный user_id преобразуется в user_anon_id (например, посредством хеширования), а доступ к данным на уровне хранилища ограничивается ролями (IAM/ACL). Внутри решения используются отдельные технические учетные записи для

оркестратора, обработки и сервинга, чтобы минимизировать риски несанкционированного доступа и разделить полномочия по принципу наименьших привилегий.

Для экспериментальной проверки используется синтетически сгенерированный датасет, имитирующий поведение 50 000 пользователей и около 5 млн событий за 90 дней. Генерация данных закладывает реалистичные закономерности: сессионность, предпочтения по жанрам и связь активности с монетизацией. Эксперименты выполнялись в локальном окружении: Spark в standalone-режиме (драйвер и два воркера по 4 ГБ RAM), Kafka версии 3.x и Python 3.9, а также библиотеки pyspark 3.3.0, pandas и scikit-learn. После предобработки и построения признаков (12 признаков) была проведена кластеризация: для K-Means число кластеров выбрано равным 5 на основе метода “локтя” и метрики силуэта, а DBSCAN настроен с параметрами $\text{eps} = 0.5$ и $\text{min_samples} = 10$.

На рисунке 1 представлена главная страница интерфейса, где пользователь может выполнить следующие операции: загрузить CSV-файл с исходными данными, выбрать алгоритм кластеризации (K-Means или DBSCAN), настроить гиперпараметры выбранного алгоритма (количество кластеров для K-Means или параметры eps и min_samples для DBSCAN), а также инициировать процесс сегментации нажатием кнопки запуска. Интерфейс взаимодействует с бэкенд-сервисом через REST API, отправляя задачу на обработку в распределенную среду.

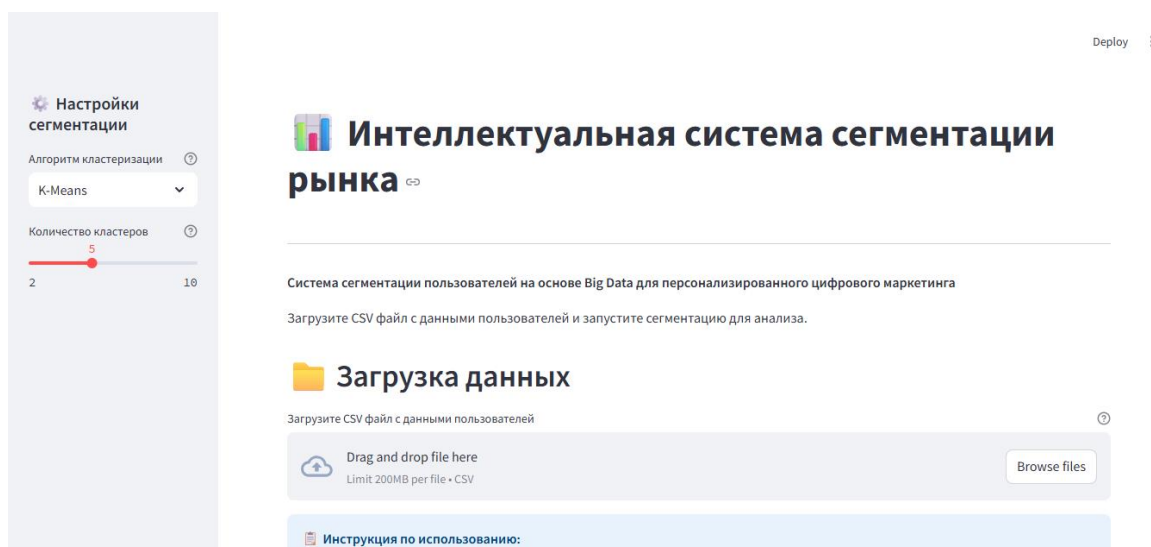


Рисунок 1 - Главная страница прототипа системы сегментации рынка (загрузка данных и параметры сегментации).

Для обеспечения корректной работы системы и предотвращения ошибок при загрузке данных, интерфейс включает раздел технической документации. На рисунке 2 представлен блок инструкций, который содержит требования к формату входных данных, включая список обязательных полей (например, `user_id`, `timestamp`, `event_type`, `amount`), описание типов данных и примеры заполнения CSV-файла. Этот раздел предназначен для самостоятельной подготовки данных пользователями и упрощения интеграции с системой.

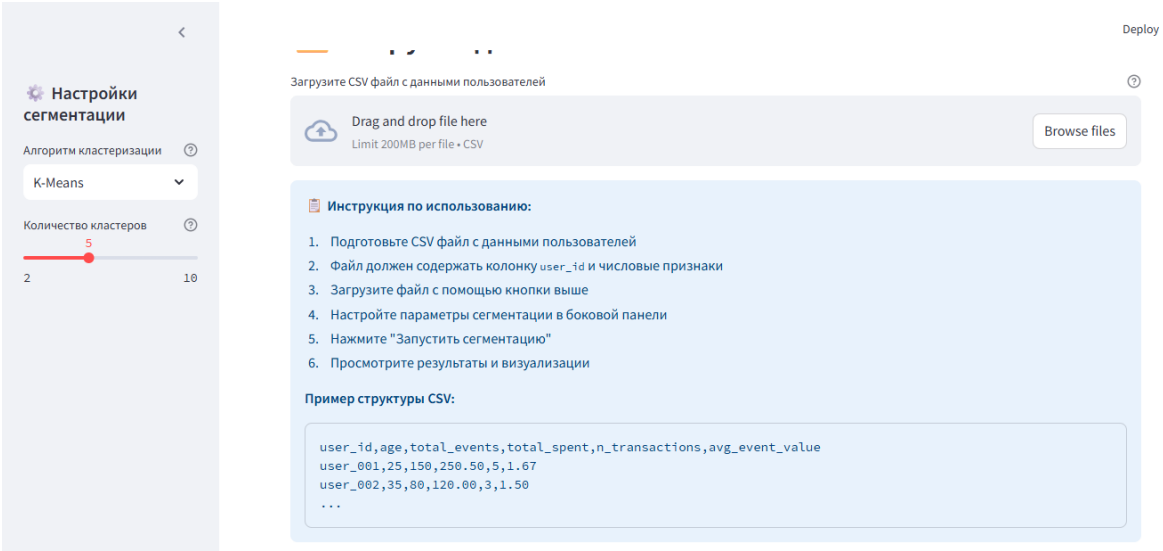


Рисунок 2 - Блок инструкций и пример структуры входного CSV-файла в пользовательском интерфейсе прототипа.

Таблица 2 - Архитектурные компоненты и этапы работы системы интеллектуальной сегментации

Этап/Компонент	Назначение в системе	Ключевые процессы
Сбор данных (Ingestion)	Прием данных из внешних источников	Потоковый прием через Kafka, пакетная загрузка в S3, обезличивание идентификаторов
Хранение (DataLake)	Организация структурированного хранилища	Зонирование (сырые, очищенные, признаки), формат Parquet, управление доступом
Обработка (ETL/FeatureEngineering)	Подготовка данных для анализа	Очистка, дедупликация, агрегация, расчет признаков (RFM, поведенческие, темпоральные)
Моделирование (ML Pipeline)	Построение и обучение моделей	Кластеризация (K-Means/DBSCAN), валидация, логирование экспериментов в MLflow

Продолжение таблицы 2

Оркестрация (Orchestration)	Управление выполнением пайплайнов	Планирование задач в Airflow, мониторинг выполнения, обработка ошибок
Сервинг (Serving)	Предоставление результатов для внешних систем	REST API (FastAPI), выгрузка сегментов в аналитические хранилища (ClickHouse)
Мониторинг (Monitoring)	Контроль работы системы и качества данных	Отслеживание метрик данных, дрейфа признаков, производительности API

С точки зрения реализации, система разрабатывалась как набор слабосвязанных модулей, взаимодействующих через очереди данных (Kafka) и общее хранилище (Data Lake). Основной пайплайн реализован в виде направленного ациклического графа (DAG) в Apache Airflow, который координирует выполнение Spark-задач для обработки данных, обучения моделей и обновления артефактов. Для обеспечения воспроизводимости все этапы, включая инженерию признаков и обучение моделей, логируются в MLflow с фиксацией параметров, кода и метрик. Веб-интерфейс (описанный на рисунках 1-2) представляет собой отдельное клиентское приложение, которое взаимодействует с бэкендом через REST API, инкапсулируя сложность распределенных вычислений и предоставляя пользователю простой способ управления процессом сегментации.

Выводы. В работе разработан и апробирован воспроизводимый прототип пайплайна интеллектуальной сегментации пользователей для цифровой платформы класса VoD, реализующий полный цикл — от генерации синтетических логов до выдачи сегментов в виде артефактов и пригодных для дальнейшей персонализации данных. Использование синтетического датасета, имитирующего поведение десятков тысяч пользователей и миллионы событий за исторический период, позволило одновременно обеспечить юридическую и этическую корректность исследования и зафиксировать повторяемость результатов при одинаковых настройках окружения и параметрах моделей.

Показано, что комбинирование RFM-признаков с поведенческими и темпоральными характеристиками формирует более содержательные и интерпретируемые сегменты, чем использование только транзакционных показателей. В рамках прототипа выполнено сравнение кластеризации K-Means и DBSCAN; подобранные параметры демонстрируют, что центроидные методы удобны для масштабирования и регулярного пересчёта сегментов, а плотностные — полезны для выявления “шума” и нетипичного поведения, хотя требуют более аккуратной настройки. Предложена методика оценки качества сегментации, которая не ограничивается внутренними метриками (Silhouette, Calinski–Harabasz, Davies–Bouldin), а формирует основу для перехода к прикладной валидации через бизнес-эффект — uplift по CTR/CVR в A/B-экспериментах, что особенно важно для маркетинговых систем, где “красивые кластеры” не всегда равны коммерческой ценности.

Обоснован выбор лямбда-архитектуры как компромисса между точностью и задержкой: потоковый контур обеспечивает устойчивый приём событий и актуализацию данных, а пакетный — стабильный пересчёт признаков и сегментов на исторической выборке. Применение связки Kafka + SparkStructuredStreaming + DataLake (Parquet и зонирование данных) + оркестрация (Airflow) + логирование экспериментов (MLflow) обеспечивает масштабируемость, отказоустойчивость и прозрачность экспериментов, а также создаёт

основу для переноса решения из локального окружения в распределённый кластер без изменения методологии. Дополнительно подтверждена практическая применимость прототипа через пользовательский веб-интерфейс, позволяющий загружать данные, задавать параметры сегментации и получать результаты в форме, удобной для аналитического использования.

Перспективы дальнейшей работы связаны с переходом от синтетических данных к реальным потокам при строгом соблюдении требований конфиденциальности (обезличивание, контроль доступа, регламенты обработки), а также с постановкой и проведением A/B-тестов для проверки бизнес-гипотез и измерения uplift. Отдельными направлениями являются развитие механизма динамического обновления сегментов на потоковых событиях (в сторону Карра-подхода/онлайн-обновлений), исследование методов снижения размерности (включая автоэнкодеры) для повышения качества кластеризации на высокоразмерных признаковых пространствах и внедрение мониторинга дрейфа признаков/сегментов для поддержания стабильности сегментации во времени. Работа представляет собой законченное IT-решение в области инженерии данных и MLOps, демонстрирующее подход к построению масштабируемого, воспроизводимого и безопасного пайплайна для интеллектуальной сегментации больших данных. Предложенная архитектура и технологический стек могут быть адаптированы для решения аналогичных задач в других предметных областях.

Список литературы

1. Кузербоева Т.Д., Куракбаева С.Д., Изтаев Ж.Д., Тагай Г.К. Обзор особенностей разработки интеллектуальной системы сегментации рынка на основе Big Data для цифрового маркетинга // Вестник науки Южного Казахстана. – 2025. – С. 170-171.
2. Котлер Ф., Картаджайя Х., Сетиаян И. Marketing 5.0: Technology for Humanity. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2021. 224 p. ISBN 978-1-119-66851-0.
3. Gupta, S., et al. Machine Learning in Marketing: A Literature Review and Research Agenda // Journal of Marketing Research. – 2020. – Vol. 57(1). – P. 28–47.
4. Захариа М., Хендари Р.М., Конарлик Дж., Венкатараман С., У. Джозеф А., Гходаси А., Ходи З., Хинд М. Апаке Спарк: унифицированный движок для обработки больших данных // Коммьюникейшнс оф зе ЭйСиЭм (Communications of the ACM). – 2016. – Т. 59, № 11. – С. 56–65.
5. Damji J. S., Wenig B., Das T., Lee D. Learning Spark: Lightning-Fast Data Analytics. 2nd ed. O'Reilly Media, 2020. 400 p. ISBN 978-1492050018.
6. Крепс Дж., Наркхеде Н., Рао Дж. Кафка: распределенная система обмена сообщениями для обработки журналов // Труды конференции НетДБ (Proceedings of the NetDB). – 2011.
7. MLflow: A Platform for the Machine Learning Lifecycle. [Электронный ресурс]. – Official Documentation, 2023. URL: <https://mlflow.org/docs/latest/index.html>
8. Apache Airflow Documentation. [Электронный ресурс]. – URL: <https://airflow.apache.org/docs/> Доступно
9. Marz, N., Warren, J. Big Data: Principles and best practices of scalable real-time data systems. – Manning Publications, 2015.
10. Хан Дж., Камбер М., Пей Дж. Добыча данных: концепции и техники (Data Mining: Concepts and Techniques). – Морган Кауфманн (Morgan Kaufmann), 2011.
11. Мамбетсапаев К.А., Турапова Ш.З. Методы кластеризации для анализа потребительского поведения в цифровом маркетинге // Институт "International school of finance, technology and science", 2023. doi: 10.5281/zenodo.14900124.

References

1. Kuzerbaeva T.D., Kurakbaeva S.D., Iztaev Zh.D., Tagai G.K. Obzor osobennostei razrabotki intellektualnoi sistemy segmentatsii rynka na osnove Big Data dlya tsifrovogo marketinga // Vestnik nauki Yuzhnogo Kazakhstana. – 2025. – S. 170-171.
2. Kotler F., Kartadzhaiya Kh., Setiauan I. Marketing 5.0: Technology for Humanity. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2021. 224 p. ISBN 978-1-119-66851-0.
3. Gupta, S., et al. Machine Learning in Marketing: A Literature Review and Research Agenda // Journal of Marketing Research. – 2020. – Vol. 57(1). – P. 28–47.
4. Damji J. S., Wenig B., Das T., Lee D. Learning Spark: Lightning-Fast Data Analytics. 2nd ed. O'Reilly Media, 2020. 400 p. ISBN 978-1492050018.
5. MLflow: A Platform for the Machine Learning Lifecycle. [Elektronnyi resurs]. – Official Documentation, 2023. URL: <https://mlflow.org/docs/latest/index.html>
6. Apache Airflow Documentation. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://airflow.apache.org/docs/> Dostupno
7. Marz, N., Warren, J. Big Data: Principles and best practices of scalable real-time data systems. – Manning Publications, 2015.
8. Zakharia M., Khendari R.M., Konarlik Dzh., Venkataraman S., U. Dzhozef A., Gkhodasi A., Khodi Z., Khind M. Apache Spark: unifitsirovannyi dvizhok dlya obrabotki bolshikh dannykh // Kommyunikeishns of ze EiSiEm (Communications of the ACM). – 2016. – T. 59, № 11. – S. 56–65.
9. Kreps Dzh., Narkkhede N., Rao Dzh. Kafka: raspredelennaya sistema obmena soobshcheniyami dlya obrabotki zhurnalov // Trudy konferentsii NetDB (Proceedings of the NetDB). – 2011.
10. Khan Dzh., Kamber M., Pei Dzh. Dobycha dannykh: kontseptsii i tekhniki (Data Mining: Concepts and Techniques). – Morgan Kaufmann (Morgan Kaufmann), 2011.
11. Mambetsapaev K.A., Turapova Sh.Z. Metody klasterizatsii dlya analiza potrebitelskogo povedeniya v tsifrovom marketinge // Institut "International school of finance, technology and science", 2023. doi: 10.5281/zenodo.14900124.

Т.Д. Кузербаева*, С.Д. Куракбаева, Ж.Д. Изтаев, Г.К. Тагай

магистрант, totykuzerbayeva@gmail.com, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к., профессор, sevam@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, zhalgasbek71@mail.ru, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент,
Қазақстан
магистр, аға оқытушы, tksway17@gmail.com, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

ПЕРСОНАЛДАНДЫРЫЛҒАН МАРКЕТИНГТІҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН BIG DATA НЕГІЗІНДЕ НАРЫҚТЫ СЕГМЕНТТЕУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Түйін

Бұл мақала персонализацияланған маркетинг үшін Big Data-ға негізделген тұтынушыларды сегменттеу жүйесінің қайталанатын прототипін жобалау мен іске асыруды ұсынады. Жүйені әзірлеу мәселелеріне алдыңғы шолу жұмысын жалғастыра отырып, бұл зерттеу тәжірибелік инженерлік аспектілерге баса назар аударады. Big Data стекін (Apache Spark, Kafka, Parquet, MLflow) таңдау негізделіп, партиялық және ағындық өңдеуді қолдайтын гибридті лямбда-сәулет ұсынылған. Мінездемелерді инженерлеу RFM-метрикаларын, мінез-құлықтық және уақыттық үлгілерді қамтиды. Ағындық платформадағы пайдаланушы әрекетін имитациялайтын синтетикалық деректер жинағында жүргізілген эксперименттерде K-Means және DBSCAN кластерлеу алгоритмдері салыстырылды, нәтижесінде силуэт және Калински-Харабас метрикалары бойынша K-Means түсіндірімді сегменттерді берді. Прототип деректерді қабылдау мен сақтаудан модельдеу және сегменттерді қызмет етуге дейінгі толық конвейерді қамтамасыз етеді. Практикалық маңыздылығы тұтынушыны тарту құнын төмендетуге және CTR мен CVR-дың әлеуетті өсуіне әкелетін нысаналаудың дәлдігін арттыруға бағытталғас масштабировемі тәсілді көрсетуде. Қайталануды қамтамасыз ету үшін код пен әдіснама

толық ашып көрсетілген.

Кілттік сөздер: Big Data, нарықты сегменттеу, персонализацияланған маркетинг, кластерлеу, RFM-талдау

T.D. Kuzerbayeva*, S.D. Kurakbayeva, Zh.D. Iztayev, G.K. Tagay

Master's student, totykuzerbayeva@gmail.com, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
Candidate of Technical Sciences, Professor, sevam@mail.ru, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, zhalgasbek71@mail.ru, M. Auezov SKU,
Shymkent, Kazakhstan
Master of Science, Senior Lecturer, tksway17@gmail.com, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A BIG DATA-BASED MARKET SEGMENTATION SYSTEM TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF PERSONALIZED MARKETING

Abstract

The article presents the design and initial implementation of a reproducible prototype for a Big Data-driven customer segmentation system aimed at personalized marketing. Building upon a prior review of system development challenges, this work focuses on the practical engineering aspects. It justifies the selection of the Big Data stack (Apache Spark, Kafka, Parquet, MLflow) and proposes a hybrid lambda architecture supporting both batch and stream processing. Feature engineering incorporates RFM metrics, behavioral, and temporal patterns. Experiments on a synthetic dataset simulating user behavior on a streaming platform compare K-Means and DBSCAN clustering algorithms, with K-Means yielding more interpretable segments based on silhouette and Calinski-Harabasz scores. The prototype provides a complete pipeline from data ingestion and storage to modeling and segment serving. The practical significance lies in demonstrating a scalable approach to reduce customer acquisition cost and improve targeting precision, leading to potential increases in CTR and CVR. The code and methodology are fully disclosed to ensure reproducibility.

Keywords: Big Data, market segmentation, personalized marketing, clustering, RFM analysis

B.D. Nurmaganbetov, Ye.M. Altynbek*, N.A. Dosmailov, U.B. Abdramanov

engineer, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan
author-developer, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan
director, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan
development engineer, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan
***Corresponding author:** support@glot.kz

GLOT: MONITORING APPLICATION

Abstract

Standard telematics solutions often lack intuitive accessibility, hindering fleet managers' decision-making. To address this issue, the GLOT app was developed as an integrated platform for GPS/GLONASS monitoring and asset connectivity. Innovative data access and management features implemented in the GLOT system, which is currently protected by a copyright certificate for inclusion in the state register of rights to objects protected by copyright No. 19746 dated August 13, 2021. This article examines and presents the technical architecture and functional benefits of the GLOT mobile app, a GPS/GLONASS and IoT monitoring solution. This study highlights the app's ability to provide highly accurate real-time tracking and advanced data management for transportation systems. Particular attention is paid to the integrated fuel consumption monitoring module, which allows users to visualize refueling and potential fuel drains through detailed graphical reports. The app was developed with cross-platform compatibility (iOS and Android) in mind and utilizes advanced encryption protocols to ensure data privacy.

Key words: GPS/GLONASS monitoring, IoT, GLOT application, fuel consumption control, advantages, telematics, data management, real-time tracking.

Introduction

Transport monitoring systems play a key role in modern logistics and fleet management. They enable real-time tracking of vehicle location, status, and parameters, optimize routes, and improve transportation efficiency and safety. Currently, there are numerous similar systems on the market, each with its own features and characteristics.

Transport monitoring systems are comprehensive solutions that enable remote monitoring and management of fleets of vehicles, special equipment, and freight and passenger transportation. They provide continuous tracking of vehicle location, speed, route, and other parameters in real time [1-3].

The key elements of such systems are:

- Onboard navigation and communication devices—special sensors and terminals installed on vehicles that transmit data about their status and location;
- Server infrastructure—software and computing power required to collect, process, and store incoming information;
- Management interface—a web platform or mobile app that provides users with access to monitoring data and fleet management capabilities.

Modern vehicle monitoring systems offer a wide range of functionality, including:

- Vehicle location and route tracking;
- Monitoring speed, fuel consumption, operating time, and idle time;
- Collection and analysis of engine parameters, unit and component performance data;
- Driver performance monitoring (driving style, compliance with work and rest schedules);
- Mobile team management, route optimization, and transportation planning;
- Automatic reporting and data archiving;
- Integration with other corporate information systems.

Materials and methods

Currently, there are numerous products and software platforms for monitoring offered by various manufacturers. They enable tracking the location, fuel consumption, cargo status, and driver behavior of vehicles, special equipment, and stationary objects worldwide [4].

How it works. Equipment: A GPS/GLONASS tracker is installed on the vehicle, to which additional sensors (fuel, temperature, etc.) are connected. Communication: The tracker transmits telematics data via a cellular network (GSM/LTE) to the platform servers. Data processing: The Wialon system analyzes the data and provides it to the dispatcher in the form of convenient graphs, reports, and notifications.

The main functions of these applications allow connection to devices and interaction with them over short and long distances [5]:

- displaying telemetry in real time;
- downloading a TMI file (black box data) from the device;
- setting a basic set of parameters for device monitoring;
- time synchronization;
- updating device firmware;
- sending standard and custom commands to the device.

In today's environment, many manufacturers and consumers (car owners) find it convenient to use modern sensors operating using Bluetooth LE technology. These devices connect to GPS trackers for wireless telemetry collection. This equipment allows for easy data collection without unnecessary wires in the cabin or cargo compartment. Advantages of BLE sensors [6]:

- Easy installation: The absence of wires reduces installation time and eliminates the risk of damage;
- Autonomy: Powered by built-in replaceable batteries, the charge of which, depending on the model and data transmission frequency, can last from 1 to 5+ years;
- Range: A stable Bluetooth Low Energy signal transmits data to the tracker at a distance of up to 25–50 meters.

This application allows you to program and adapt universal control scenarios separately for connected devices, allowing you to expand and subsequently enable features that provide full control over devices with notifications, as shown in Figure 1.

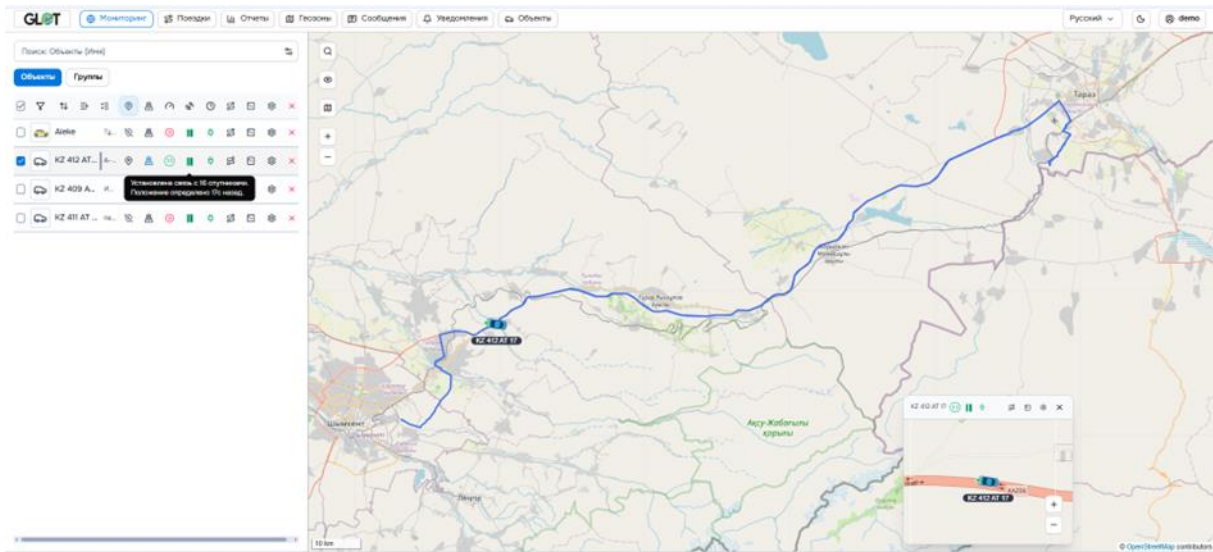


Figure 1 – GLOT monitoring system

The GLOT application is built on a microservices architecture, ensuring high fault tolerance, efficient load handling, and horizontal scalability. The system is designed to process large volumes of telemetry data and is integrated with hardware such as GPS trackers and wireless sensors [7].

Distinguishing features of the monitoring system:

1. Platform compatibility: Designed for iOS (14.0+) and Android, ensuring broad accessibility for professional users.

2. Data processing: The internal Apache Kafka infrastructure handles massive data streams using batch processing (up to 500 messages per batch) and latency in the hundreds of milliseconds, enabling near-real-time data updates.

The GLOT infrastructure is implemented in accordance with modern architectural practices for developing high-load and scalable systems. Figure 2 shows the architecture, which includes a mechanism for hot caching of geohashes in RAM, enabling fast access to addresses. Geofence indexing for geohash sublevels is also included for high-performance computing of telematics data.

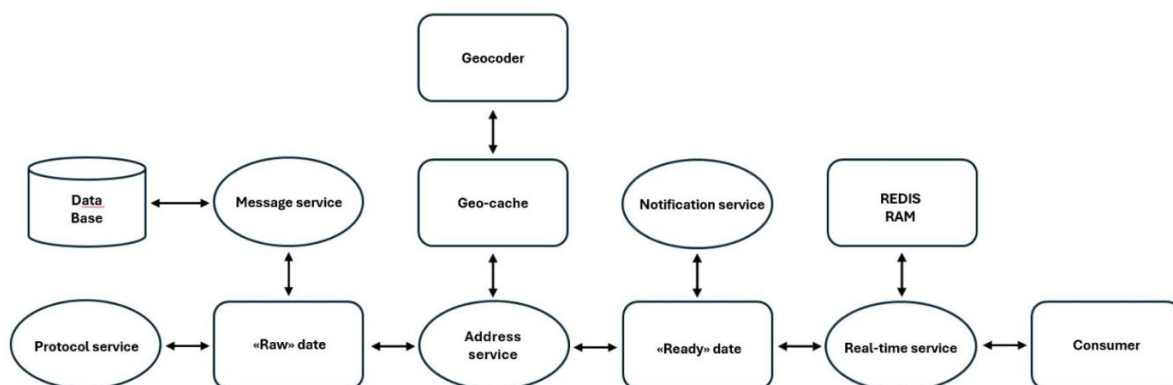


Figure 2 – High-fault tolerance architecture

3. Security Measures: The implementation includes advanced obfuscation and encryption techniques (similar to LIAPP protocols) to protect sensitive user credentials and location data from unauthorized access [8].

Results and Discussion

A performance analysis of the GLOT system demonstrates excellent data visualization capabilities. One key result is a multi-level fuel monitoring system that provides users with automated reports on fuel levels in different tanks. A functional comparison of GLOT's monitoring features is shown in Table 1.

Table 1 - Functional comparison of GLOT monitoring functions

Function	Realization details	Advantages for users
Real-time tracking	GPS/GLONASS integration	Accurate and efficient location detection
Fuel analysis	Fuel filling and draining schedules	Theft prevention and consumption control
Geozoning	Automatic zone entry/exit notifications	Improved facility security
Route management	Visualization and analysis of optimal routes	Logistics optimization and cost reduction
Monitoring of various objects	Support for vehicles, people, and animals	Versatility of system application
Report generation	Automatic generation of analytical reports	Simplified analysis and decision-making
Mobile access	Smartphone apps	System control from anywhere
Notifications and alerts	Customizable event alerts	Rapid incident response

Table 1 describes the GLOT system as a “digital dispatcher” that transforms fleet management from guesswork to precise numbers. Here are a few key aspects that this table details:

1. Combating the “human factor”. Fuel analysis and geofencing functions work together to prevent improper use of vehicles. The system not only monitors the fuel level in the tank but also correlates it with the location: if a fuel drain occurs outside an authorized zone or refueling station, the dispatcher immediately receives an alert.

It works without human intervention according to the following scheme:

Event: For example, a sensor in the tank detects a sharp drop in fuel level, or the car leaves the permitted area (geofence).

Trigger: The program compares the current data with the “norm”. As soon as a deviation occurs, the system generates a signal.

Delivery: The dispatcher receives a notification within 1-3 seconds. This could be:

- A pop-up window on the computer monitor in the control center (often accompanied by a siren).
- A push notification in the mobile app on a smartphone.
- A message in Telegram/WhatsApp (if integration is configured).
- An email.

Why is this important? Without alerts, the dispatcher would have to manually monitor hundreds of vehicles on a map. With alerts, they can focus on other tasks: the system will automatically notify them if something goes wrong. What do you mean by “instantly”? Data from the vehicle's tracker is transmitted via mobile internet (GSM). If the connection is stable, the delay between a fuel drain in the field and the notification on the owner's phone is less than a second.

2. Flexibility of assets (from trucks to couriers). GLOT is more often associated with trucks; the asset monitoring section involves the use of not only stationary trackers but also mobile beacons or smartphones. This allows for tracking employees on foot or valuable cargo moving between different vehicles.

3. Analytics instead of raw data. Report generation is the “brain” of the system. Instead of staring at a map 24/7, the manager receives a concise summary at the end of the day or week:
- a) how long the vehicle was parked with the engine running (idling);
 - b) whether there were any speeding violations (driving quality assessment);
 - c) how much the actual route deviated from the planned one.
4. Efficiency through Mobile-first. The presence of a mobile app transforms the system from an office tool into a personal assistant. This is critical for small businesses: the owner can monitor the performance of drivers directly on the road, receiving push notifications about critical events (for example, pressing a panic button or sensor failure), as shown in Figure 3.

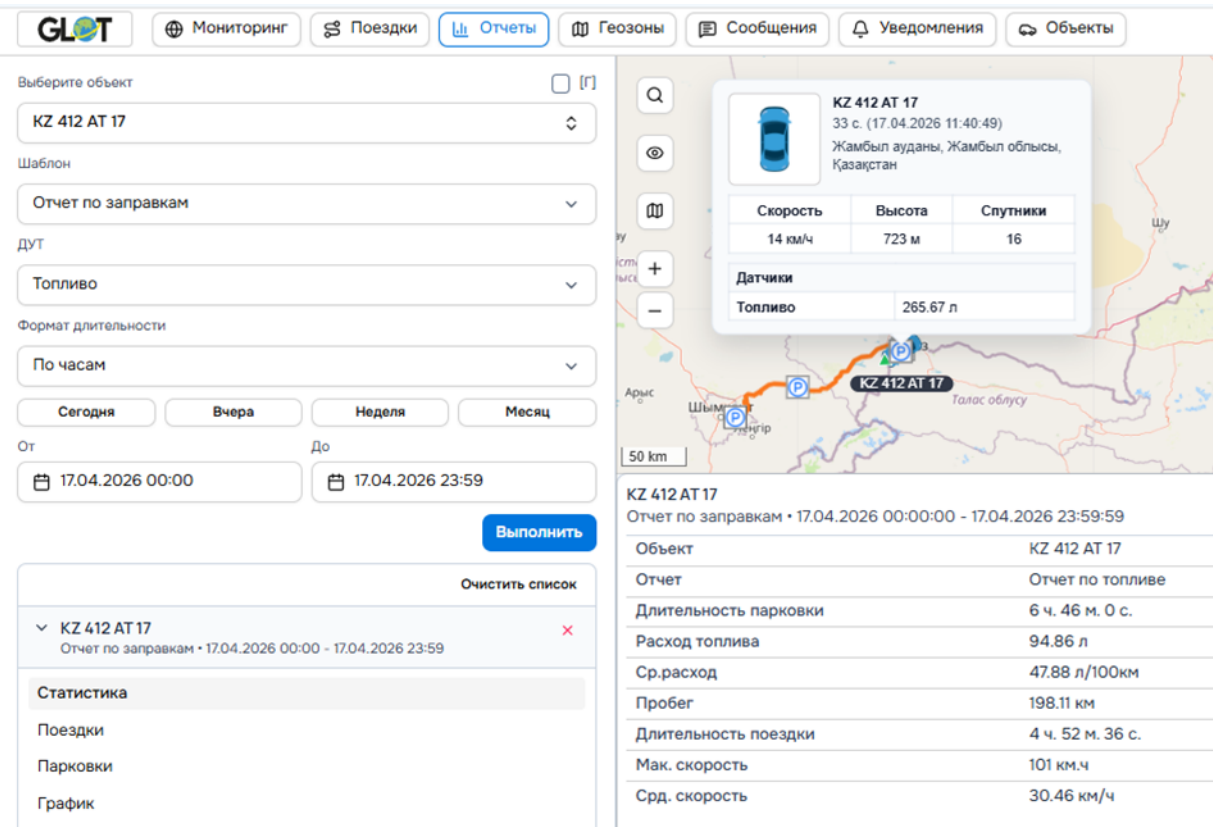


Figure 3 - Multi-level fuel monitoring system (GLOT app developed)

Figure 3 shows a daily report for a single object in the multi-level fuel monitoring system. It contains information on engine hours, mileage, and fuel consumption. This section (record) allows for generating reports in a clear and simple format for further analysis. Pre-defined report templates are also available, such as “Data Analysis”, “Engine Report”, and “Speeding”. As the name suggests, these templates provide different reporting areas; the user can create their own template if needed. The "FLS" field allows selecting the desired sensors for generating a report. The abbreviation “FLS” stands for fuel level sensor. The duration format can also be changed for more general or detailed reports. Group reports can be generated, allowing for multi-reporting across multiple objects [9].

Discussion of the version 1.1.3 updates indicates that security and user interface improvements have resulted in a 5.0 rating in the App Store, demonstrating high user satisfaction with the data management interface.

Conclusion

The development of the GLOT app represents a significant step in the evolution of mobile monitoring systems. Offering expanded data access and an authorized management system, the

system effectively addresses industry needs for transparent fleet operations. Further development will focus on integrating predictive AI algorithms for maintenance planning, further expanding the app's capabilities in the Internet of Things (IoT).

GLOT is more than just a “point on the map”, but a tool for minimizing operational costs. The system's primary focus is on cost transparency (fuel, time, mileage) and rapid response to emergencies.

The mobile app is recommended and suitable for a wide range of uses, including individual needs and specialized equipment, including rail transport and critical cargo. For example, the app is currently popular with quarry equipment and government inspectors in nature reserves. Our app provides services for ambulances, emergency response vehicles, and firefighting equipment.

References

1. GLONASS monitoring of freight transport [GLONASS monitoring gruzovogo transporta]. Доступно на: <https://waliot.com/solutions/glonass-monitoring-gruzovogo-transporta/?ysclid=mqkb56923l539685782>
2. Glot App - App Store. KaspiNet, version 1.1.3. Available at: <https://apps.apple.com/kz/app/glot/id1633525879>.
3. Comparison of Wialon and Glonasssoft transport monitoring systems [Sravnenie sistem monitoringa transporta Wialon i Glonasssoft]. Available at: <https://www.geoinformer.com/sravnenie-sistem-monitoringa-transporta-wialon-i-glonasssoft/>
4. Monitoring system [Sistema monitoringa]. Available at: <https://help.wialon.com/ru/wialon-hosting/user-guide/monitoring-system>.
5. Development and production of GPS tracking equipment. Available at: <https://www.navtelecom.ru/en/>.
6. Teltonika GPS. Available at: <https://www.teltonika-gps.com/>
8. Advanced Obfuscation and Encryption | LIAPP. Lockin company. Available at <https://liapp.lockincomp.com>.
9. Stavtrack KZ - Automotive Monitoring Software and Hardware [Stavtrack KZ - PO i oborudovanie dlya monitoringa avto]. Available at: <https://stavtrack.kz/>.
10. KaspiNet TOO. GLOT – vehicle monitoring system [KaspiNet TOO. GLOT – sistema monitoringa transportnyh sredstv]. Available at: <https://glot.kz>.

Б.Д. Нұрмағанбетов, Е.М. Алтынбек*, Н.А. Досмайылов, У.Б. Әбдіраманов

инженер, nuroff@list.ru, «KaspiNet» ЖШС, Шымкент, Қазақстан

* автор-әзірлеуші, support@glot.kz, «KaspiNet» ЖШС, Шымкент, Қазақстан

Директор, nurzhan@kaspinet.info, «KaspiNet» ЖШС, Шымкент, Қазақстан

әзірлеу жөніндегі инженер, ulanabdraman@gmail.com, KaspiNet LLC, Шымкент, Қазақстан

GLOT: БАҚЫЛАУ ҚОСЫМШАСЫ

Түйін

Стандартты телематикалық шешімдер көбінесе интуитивті қолжетімділікке ие емес, бұл автопарк менеджерлерінің шешім қабылдауына кедергі келтіреді. Бұл мәселені шешу үшін GLOT қосымшасы GPS/GLONASS мониторингі және активтерге қосылу үшін интеграцияланған платформа ретінде жасалды. GLOT жүйесінде инновациялық деректерге қол жеткізу және басқару мүмкіндіктері енгізілген, ол қазіргі уақытта 2021 жылғы 13 тамыздағы № 19746 авторлық құқықпен қорғалатын нысандарға құқықтардың мемлекеттік тізіліміне енгізу үшін авторлық құқық сертификатымен қорғалған. Бұл мақалада GPS/GLONASS және IoT мониторинг шешімі болып табылатын GLOT мобильді қосымшасының техникалық архитектурасы мен функционалдық артықшылықтары қарастырылады және ұсынылады. Бұл зерттеу қосымшаның көлік жүйелері үшін жоғары дәлдіктегі

нақты уақыт режимінде бақылауды және кеңейтілген деректерді басқаруды қамтамасыз ету мүмкіндігін көрсетеді. Пайдаланушыларға егжей-тегжейлі графикалық есептер арқылы жанармай құюды және ықтимал отын шығынын елестету мүмкіндігін беретін интеграцияланған отын шығынын бақылау модуліне ерекше назар аударылады. Қолданба платформааралық үйлесімділікті (iOS және Android) ескере отырып жасалған және деректердің құпиялылығын қамтамасыз ету үшін кеңейтілген шифрлау хаттамаларын пайдаланады.

Кілттік сөздер: GPS/GLONASS мониторингі, IoT, GLOT қолданбасы, отын шығынын бақылау, артықшылықтар, телематика, деректерді басқару, нақты уақыт режимінде бақылау.

Б.Д. Нурмаганбетов, Е.М. Алтынбек*, Н.А. Досмаилов, У.Б. Абдраманов

инженер, nuroff@list.ru, ООО «KaspiNet», Шымкент, Казахстан

*автор-разработчик, support@glot.kz, ООО «KaspiNet», Шымкент, Казахстан

директор, nurzhan@kaspinet.info, ООО «KaspiNet», Шымкент, Казахстан

инженер-разработчик, ulanabdraman@gmail.com, ООО «KaspiNet», Шымкент, Казахстан

GLOT: ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА

Аннотация

Стандартные телематические решения часто не обладают интуитивно понятным доступом, что затрудняет принятие решений менеджерами автопарков. Для решения этой проблемы было разработано приложение GLOT как интегрированная платформа для мониторинга GPS/GLONASS и подключения активов. Инновационные функции доступа и управления данными, реализованные в системе GLOT, в настоящее время защищены свидетельством об авторском праве для включения в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 19746 от 13 августа 2021 года. В данной статье рассматривается и представляется техническая архитектура и функциональные преимущества мобильного приложения GLOT, решения для мониторинга GPS/GLONASS и IoT. В исследовании подчеркивается способность приложения обеспечивать высокоточное отслеживание в режиме реального времени и расширенное управление данными для транспортных систем. Особое внимание уделено интегрированному модулю мониторинга расхода топлива, который позволяет пользователям визуализировать заправку и потенциальный расход топлива с помощью подробных графических отчетов. Приложение разработано с учетом кроссплатформенной совместимости (iOS и Android) и использует передовые протоколы шифрования для обеспечения конфиденциальности данных.

Ключевые слова: мониторинг GPS/GLONASS, IoT, приложение GLOT, контроль расхода топлива, преимущества, телематика, управление данными, отслеживание в реальном времени.

Е.Д. Сарсембинов^{1*}, Л.Л. Ла²

¹магистрант, Astana IT University, Астана, Казахстан

²к.ф.-м.н., доцент кафедры Информационные системы, Евразийский национальный университет им.
Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

*Автор для корреспонденции: 243069@astanait.edu.kz

ПРИМЕНЕНИЕ ANFIS ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация

В статье рассматривается применение иерархической адаптивной нейро-нечёткой системы вывода (Н-ANFIS) для интеллектуальной классификации качества поверхностных вод на основе гидрохимических показателей. Предложенная модель обеспечивает интеграцию нескольких параметров воды, таких как содержание растворённого кислорода, БПК₅, аммония, металлов и других веществ, с учётом их нелинейных взаимосвязей. Иерархическая структура позволяет значительно сократить число правил и повысить интерпретируемость, по сравнению с классическими ANFIS-моделями. Результаты показывают, что модель демонстрирует устойчивость к шуму, адаптивность к новым данным и может быть непосредственно привязана к Единой системе классификации качества воды Республики Казахстан. Это делает её применимой в задачах экологического мониторинга, в том числе в составе автоматизированных станций наблюдения. Работа подтверждает потенциал Н-ANFIS как эффективного инструмента для поддержки принятия решений в управлении водными ресурсами.

Ключевые слова: качество воды, ANFIS, нейро-нечёткая система, экологический мониторинг, классификация, нечёткая логика.

Введение. Оценка качества поверхностных вод играет ключевую роль в экологическом мониторинге и управлении водными ресурсами. В Республике Казахстан для этой цели используется нормативная шкала из шести классов, основанная на пороговых значениях гидрохимических показателей. Несмотря на простоту реализации, такой подход не учитывает непрерывный характер экологических процессов, неопределённость измерений и взаимосвязь между параметрами, что ограничивает устойчивость оценок.

Для преодоления этих недостатков в последние годы активно развиваются интеллектуальные методы, в частности, модели, основанные на нечёткой логике и машинном обучении. Среди них наибольший интерес представляет ANFIS — адаптивная нейро-нечёткая система вывода, сочетающая интерпретируемость и обучаемость. Однако классическая ANFIS ограничена масштабируемостью при увеличении числа входов.

В данной работе предлагается иерархическая архитектура Н-ANFIS для классификации воды по 6 нормативным классам на основе десяти параметров. Подход позволяет сократить число правил, учесть совокупное влияние показателей и обеспечить нормативную совместимость результатов.

Классические методы оценки качества воды чаще всего основаны на сравнении концентраций загрязняющих веществ с установленными нормативными значениями. В таких подходах качество воды определяется либо по отдельным показателям, либо через интегральный индекс. Пороговые методы обычно фиксируют итоговый класс по наиболее неблагоприятному параметру, тогда как индексные методы сводят несколько показателей к одной обобщённой оценке [1, 2]. Подобные методы удобны для практического мониторинга, поскольку дают понятный и формально определённый

результат. Однако их ограничение состоит в том, что они слабо учитывают совместное влияние показателей и могут резко менять итоговый класс даже при небольшом изменении одного параметра. Кроме того, индексные методы часто требуют экспертного задания весов, а усреднение может скрывать критические превышения по отдельным загрязнителям [3].

Для более гибкой оценки качества воды в ряде исследований применялись методы нечёткой логики. Их преимущество заключается в том, что они позволяют описывать переходы между классами не как резкие границы, а как постепенное изменение состояния водного объекта. Нечёткие системы вывода, особенно модели типа Мамдани, используют правила IF–THEN и лингвистические переменные, что делает их удобными для экспертной интерпретации [4]. Такие модели хорошо подходят для случаев, когда данные содержат неопределённость или значения показателей находятся вблизи нормативных границ. Вместе с тем их качество во многом зависит от того, насколько корректно эксперт задаёт функции принадлежности и базу правил [5]. При увеличении числа входных параметров возникает и другая проблема: количество правил быстро растёт, что усложняет настройку и снижает масштабируемость модели [6].

Одним из способов преодоления этих ограничений является использование ANFIS — адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, предложенной Jang [7]. В отличие от классических нечётких систем, ANFIS может обучаться на данных и автоматически подбирать параметры функций принадлежности и линейных следствий. Это особенно важно для задач экологического мониторинга, где связь между показателями качества воды часто является нелинейной. В работах, посвящённых моделированию качества воды, показано, что ANFIS может давать более точные результаты по сравнению с отдельными нечёткими или нейросетевыми моделями [8, 9]. При этом модель сохраняет интерпретируемость за счёт правил IF–THEN, что отличает её от полностью «чёрных ящиков».

Для задач с ограниченным объёмом данных также важно, что ANFIS может работать на сравнительно небольших выборках и сохранять устойчивость к шуму [10, 11]. В исследованиях по прогнозированию индекса качества воды и отдельных гидрохимических параметров ANFIS показала себя как гибкий инструмент, способный учитывать несколько взаимосвязанных показателей одновременно [10, 11]. В контексте настоящей работы особое значение имеет возможность обучать модель непосредственно на классах качества воды, принятых в нормативной системе. Такой подход позволяет не переводить результат из абстрактного индекса в государственную категорию, а сразу получать итоговый класс качества воды [11, 12].

Таким образом, переход от жёстких пороговых схем к нейро-нечётким моделям позволяет объединить несколько требований: учёт неопределённости, адаптацию к данным, интерпретируемость и соответствие нормативной классификации. Именно поэтому ANFIS и её иерархические варианты представляют интерес для автоматизированных систем экологического мониторинга.

Материалы и методы. В настоящей работе была реализована иерархическая адаптивная нейро-нечёткая система вывода H-ANFIS, предназначенная для классификации качества поверхностных вод по гидрохимическим параметрам. Иерархическая структура выбрана не только как способ повысить точность модели, но и как практическое решение проблемы роста числа нечётких правил. Если использовать классическую ANFIS с десятью входными параметрами и тремя термами для каждого признака, количество правил становится слишком большим для удобной настройки и интерпретации. Поэтому входные параметры были разделены на несколько групп, каждая из которых обрабатывается отдельным локальным ANFIS-блоком.

В модель были включены десять показателей:

- взвешенные вещества,
- нитрит-ионы,
- марганец,
- аммоний-ион,
- цинк,
- биохимическое потребление кислорода (БПК₅),
- растворённый кислород,
- медь,
- общее содержание железа,
- никель.

Эти параметры были сгруппированы в четыре локальных блока:

- Группа 1 (взвешенные частицы и органические соединения): взвешенные вещества, нитрит-ионы, марганец;
- Группа 2 (азотистое и биогенное загрязнение): аммоний-ион, цинк, БПК₅;
- Группа 3 (кислородный режим и микрозагрязнители): растворённый кислород, медь;
- Группа 4 (тяжёлые металлы): железо общее, никель.

Hierarchical ANFIS prototype

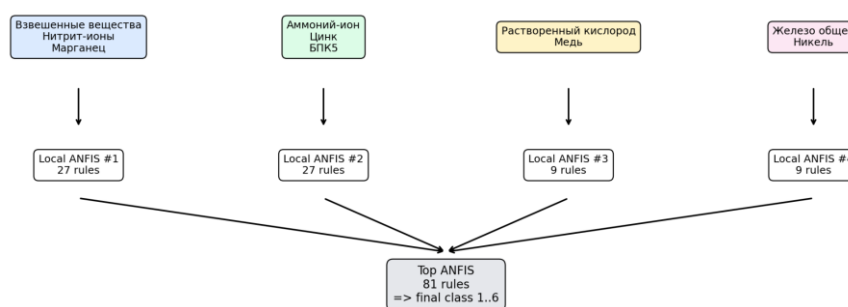


Рисунок 1 – Схематическое описание архитектуры системы нечеткой оценки

Каждая группа подаётся на ANFIS-блок первого уровня. Локальные блоки формируют промежуточные оценки, которые затем передаются на верхний агрегирующий блок. Верхний уровень объединяет результаты локальных моделей и формирует итоговое предсказание класса качества воды. В текущей реализации локальные блоки используют 27, 27, 9 и 9 правил соответственно, а верхний блок содержит 81 правило. В результате вся иерархическая модель включает 153 правила. Для сравнения, плоская ANFIS-модель при тех же десяти входах и трёх термах на каждый признак потребовала бы более 59 000 правил.

Обучение модели проводилось на наборе из 4917 наблюдений. Каждая запись содержит значения десяти гидрохимических показателей и соответствующий класс качества воды по шкале от I до VI. Задача была сформулирована как регрессионная с последующим округлением предсказанного значения до ближайшего класса. Для настройки параметров использовался гибридный алгоритм обучения, сочетающий метод наименьших квадратов и градиентный спуск. Такой подход позволяет одновременно настраивать параметры функций принадлежности и линейные коэффициенты следствий.

Преимущество выбранной архитектуры заключается в том, что она делает модель более компактной и удобной для анализа. Локальные блоки позволяют отдельно

оценивать вклад разных групп показателей, а верхний блок объединяет эти оценки в итоговый класс. Благодаря этому H-ANFIS сохраняет интерпретируемость, но при этом остаётся обучаемой моделью, способной адаптироваться к данным мониторинга.

Результаты и их обсуждение. В ходе работы была построена и протестирована иерархическая ANFIS-модель для многоклассовой оценки качества поверхностных вод. Модель возвращает числовое значение, которое затем сопоставляется с шестиклассовой шкалой качества воды. Основной акцент был сделан на том, чтобы сохранить связь результата с нормативной классификацией и одновременно уменьшить сложность модели по сравнению с классической ANFIS.

Главный результат связан с сокращением количества правил. В классической плоской архитектуре десять входных признаков при трёх термах на каждый вход приводят к числу правил более 59 000. В предложенной иерархической модели используется только 153 правила. Это делает модель значительно более компактной и удобной для дальнейшей настройки. При этом декомпозиция на локальные блоки позволяет сохранить смысловую интерпретацию промежуточных результатов: отдельные блоки отражают разные группы гидрохимических показателей, а верхний блок объединяет их в итоговую оценку.

Этот подход обеспечивает высокую вычислительную эффективность и сохраняет возможность интерпретации промежуточных результатов на каждом уровне, что особенно важно в условиях практического экологического мониторинга.

Благодаря иерархической декомпозиции, каждый блок модели отвечает за оценку определённого аспекта: кислородный режим, биогенное загрязнение, токсичность и тяжёлые металлы. Это позволяет представить результат классификации не только в виде итогового класса, но и через понятную интерпретацию влияния каждой группы параметров. Такие свойства делают модель H-ANFIS совместимой с нормативными процедурами анализа и пригодной для внедрения в контексте государственного водного контроля.

В отличие от статических пороговых схем, модель H-ANFIS адаптируется к эмпирическим данным и способна переобучаться при изменении состава показателей, сезонов или нормативной базы. Учитывая высокую сезонную и пространственную изменчивость водной среды, данная особенность играет критически важную роль для долгосрочного использования модели в системах автоматизированного мониторинга.

Обучение и валидация модели проводились на наборе данных из 4917 записей. Полученные метрики качества модели составили:

- RMSE (среднеквадратичная ошибка): 0.6022
- MAE (средняя абсолютная ошибка): 0.3968
- Округлённая точность предсказания (rounded accuracy): 64.47%

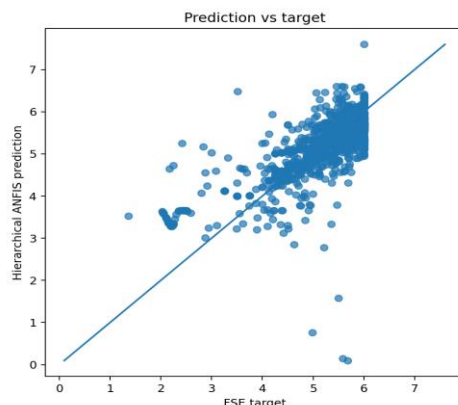


Рисунок 2 – график рассеяния, показывающий сравнение между целевыми значениями классов качества воды и предсказаниями модели иерархического ANFIS

С учётом шестиклассовой шкалы и высокой вариативности данных, данный результат подтверждает высокую обоснованность выбора иерархической архитектуры. Модель продемонстрировала стабильную работу на граничных и неоднозначных записях, где классические методы склонны к скачкообразной или некорректной классификации.

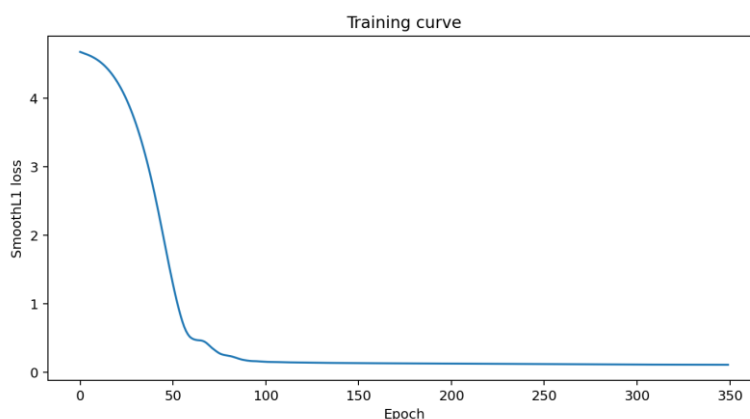


Рисунок 3 – Кривая обучения модели

В то же время текущая точность показывает, что модель ещё требует доработки. Возможные направления улучшения связаны с расширением обучающей выборки, более тщательным подбором функций принадлежности, увеличением числа термов для отдельных признаков, добавлением сезонных и пространственных характеристик, а также использованием методов отбора признаков. Кроме того, перспективным направлением может быть комбинирование H-ANFIS с другими моделями, которые могли бы уточнять итоговое предсказание. Таким образом, текущая версия модели подтверждает работоспособность подхода, но должна рассматриваться как первый прототип, требующий дальнейшей оптимизации.

Таким образом, модель не только подтвердила свою практическую применимость, но и заложила основу для последующих этапов доработки и внедрения в автоматизированные платформы анализа качества воды.

Выводы. В работе была реализована и протестирована иерархическая ANFIS-модель для классификации качества поверхностных вод. Модель использует десять гидрохимических параметров, разделённых на четыре локальных блока. Такая структура позволила сократить число правил до 153, тогда как классическая ANFIS при

аналогичных условиях потребовала бы более 59 000 правил.

Учитывая наличие шести классов качества воды и высокую неоднородность входных данных, полученная точность считается удовлетворительной для первого прототипа. Модель корректно реагировала на изменения во входных значениях, обеспечивая устойчивость вблизи границ классов, что делает её особенно перспективной для применения в системах мониторинга, где точность и интерпретируемость имеют критическое значение.

Список литературы

1. Horton R. K. An index number system for rating water quality // Journal of the Water Pollution Control Federation. – 1965. – Т. 37, №3. – С. 300–306.
2. Tyagi S., Sharma B., Singh P., Dobhal R. Water quality assessment in terms of water quality index // American Journal of Water Resources. – 2013. – Т. 1, №3. – С. 34–38.
3. Shah M. I., Joshi A. Evaluation of water quality using fuzzy logic approach: A case study // Environmental Monitoring and Assessment. – 2017. – Т. 189, №9. – С. 1–11.
4. Lermontov A., Yokoyama L., Lermontov M., Machado M. A. S. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape River watershed, Brazil // Ecological Indicators. – 2009. – Т. 9, №6. – С. 1188–1197.
5. Nasirian M. A new fuzzy logic-based method for water quality assessment // Environmental Monitoring and Assessment. – 2013. – Т. 185, №1. – С. 721–727.
6. Bellini F., Barzegar Y., Marrone S., Verde L., Pisani P. Sustainable water quality evaluation based on cohesive Mamdani and Sugeno fuzzy inference system // Sustainability. – 2023. – Т. 15, №2. – Ст. 579.
7. Jang J. S. R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. – 1993. – Т. 23, №3. – С. 665–685.
8. Aryafar A., Asadi H., Bozorg-Haddad O. Surface water quality prediction using a hybrid fuzzy inference system // Water Supply. – 2019. – Т. 19, №7. – С. 2023–2033.
9. Maroufpoor E., Farokhnia A., Lotfi F. H. Forecasting water quality index using ANFIS, ANN, and regression models // Water and Environment Journal. – 2019. – Т. 33, №1. – С. 109–119.
10. Tiyyasha T., Tung T. M., Yaseen Z. M., Kisi O. Development of water quality index prediction model using neural network and ANFIS // Journal of Hydrology. – 2020. – Т. 582. – Art. 124503.
11. Krupa M., Lewandowski J., Woźniak W. Water quality assessment with ANFIS models calibrated for Polish standards // Environmental Monitoring and Assessment. – 2020. – Т. 192, №9. – С. 1–14.
12. Barinova S. S. The Water Quality Index and ecological classification in environmental monitoring of freshwaters // Journal of Environmental Biology. – 2017. – Т. 38, №5. – С. 1125–1135.

Е.Д. Сарсембинов^{1*}, Л.Л. Ла²

¹магистрант, 243069@astanait.edu.kz, Astana IT University, Астана, Қазақстан

²ф.-м.ғ.к., Ақпараттық жүйелер кафедрасының доценті, lira_la@hotmail.com, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

ГИДРОХИМИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕР НЕГІЗІНДЕ СУ САПАСЫН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖІКТЕУ ҮШІН H-ANFIS ҚОЛДАНУ

Түйін

Бұл мақалада гидрохимиялық көрсеткіштер негізінде беткі сулар сапасын интеллектуалды жіктеу үшін иерархиялық бейімделген нейро-анық емес жүйесін (H-ANFIS) қолдану сипатталады. Ұсынылған модель еріген оттегі, БПК₅, аммоний, ауыр металдар мен басқа заттардың өзара байланысын ескере отырып, бірнеше параметрді біріктіруге мүмкіндік береді. Иерархиялық құрылым ережелер санын айтарлықтай қысқартады және модельдің түсініктілігін арттырады. Алынған нәтижелер H-ANFIS жүйесінің өлшеу қатесіне төзімді екенін, жаңа деректерге бейімделе алатынын және Қазақстан Республикасының су сапасын бағалау жүйесіне сәйкес келетінін көрсетеді. Бұл тәсілді экологиялық мониторингке, соның ішінде автоматтандырылған бақылау станцияларына енгізуге болады. Жұмыста ұсынылған әдіс су ресурстарын басқаруда шешім қабылдауға қолдау көрсететін тиімді құрал ретінде бағаланады.

Кілттік сөздер: су сапасы, ANFIS, нейро-анық емес жүйе, экологиялық мониторинг, жіктеу, анық емес логика.

E.D. Sarsembinov^{1*}, L.L. La²

¹Master's student, 243069@astanait.edu.kz, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

²Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, lira_la@hotmail.com, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

APPLICATION OF H-ANFIS FOR INTELLIGENT CLASSIFICATION OF WATER QUALITY BASED ON HYDROCHEMICAL PARAMETERS

Abstract

This paper presents the application of a hierarchical adaptive neuro-fuzzy inference system (H-ANFIS) for intelligent classification of surface water quality based on hydrochemical indicators. The proposed model integrates multiple water quality parameters such as dissolved oxygen, BOD₅, ammonia, heavy metals, and nutrients while capturing their nonlinear interactions. By structuring the system hierarchically, the number of fuzzy rules is significantly reduced, improving model interpretability without sacrificing accuracy. The results demonstrate the model's robustness to noise, adaptability to changing conditions, and compliance with the official Water Quality Classification System of the Republic of Kazakhstan. These features make the H-ANFIS approach suitable for environmental monitoring tasks, including deployment in automated sensing stations. This study highlights the practical potential of H-ANFIS as a transparent and data-driven tool for real-time decision support in water resource management.

Keywords: water quality, ANFIS, neuro-fuzzy system, Environmental Monitoring, classification, fuzzy logic

МАЗМҰНЫ
СОДЕРЖАНИЕ
CONTENT

ХИМИЯЛЫҚ ИНЖЕНЕРИЯ
ХИМИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ
CHEMICAL ENGINEERING

L. Aikozova, Sh. Dzholdasova, B. Tastanbekov, A. Ismail Cand.Tech.Sci., associate professor, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan Cand.Chem.Sci., associate professor, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan senior lecturer, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan 4th year student, M.Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan RESEARCH ON PRODUCTS DERIVED FROM NATURAL LATEX CONCENTRATE	3
А.А. Анарбаев, Н.С. Бородин, Б.Н. Кабылбекова д.т.н., профессор, ЮКУ имени М.Ауезова, Шымкент, Казахстан магистрант, ЮКУ имени М.Ауезова, Шымкент, Казахстан к.т.н., доцент ЮКУ имени М.Ауезова, Шымкент, Казахстан ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА НА ЦЕЛЕВЫЕ ПРОДУКТЫ	11
Ж.К. Бахов т.ғ.д., профессор, С. Сейфуллин атындағы ҚазАТЗУ, Астана, Қазақстан АҚДАЛ ЖӘНЕ АРЫС ТЕРМАЛДЫ СУЛАРЫН КЕШЕНДІ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ	18
Р.А. Козыкеева т.ғ.к., доцент, Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан ФОТОХИМИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІРУ АРҚЫЛЫ ПОЛИЭТИЛЕН БЕТІНЕ МЫС ҚАБЫҚШАСЫН ТҮНДІРУ	27
А.С. Сидиков д.х.н., профессор, филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина в городе Ташкент, Республика Узбекистан СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОТ- И СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КРАУН-ЭФИРОВ	38
A. Tevyashova, N. Kuhnert School of Science of Constructor university, Bremen, Germany School of Science of Constructor university, Bremen, Germany MATHEMATICAL MODELING OF DEVELOPED COMPOSITE POLYMER STABILIZERS	45

А.Н. Турдыбаева, Н.К. Сарыпбекова

магистрант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан,
х.ғ.к., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

**КӘДІМГІ ТҮЙМЕШЕТЕН (TANACETUM VULGARE L.) ГҮЛДЕРІНІҢ
ФАРМАКОГНОСТИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУІ**

54

А.Н. Турдыбаева, Н.К. Сарыпбекова, Г.Н. Тобағабылова

магистрант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
х.ғ.к., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
техникалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент,
Қазақстан

**КӘДІМГІ ТҮЙМЕШЕТЕН (TANACETUM VULGARE) ГҮЛІНЕН
БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРДЫ АНЫҚТАУ**

61

А.А. Утебаев, Л.Д. Айкозова, К.С. Назарасым, И.Х. Ирисметов

т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
оқытушы, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
студент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

**СКАНЕРЛЕУШІ ЭЛЕКТРОНДЫ МИКРОСКОПИЯЛЫҚ ТАЛДАУ
НӘТИЖЕЛЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚАЛАҚАЙ (URTICA URENS) ӨСІМДІГІНІҢ
ЭЛЕМЕНТТІК ҚҰРАМЫН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ**

68

**ИНФОРМАТИКА, IT-ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАТИКА, IT-ТЕХНОЛОГИИ
COMPUTER SCIENCE, INFORMATION TECHNOLOGIES**

С.Б. Атажонова

Педагогикалық ғылымдар бойынша PhD, "Ақпараттық технологиялар" кафедрасының
доценті, Андижан Мемлекеттік техникалық институты, Андижан, Өзбекстан
**ЗАМАНАУИ WEB ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕ ҚАУІПСІЗ ЖӘНЕ SEO-
ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН БІЛІМ БЕРУ ПЛАТФОРМАСЫН ӘЗІРЛЕУ**

75

М.О. Балабекова, М.С. Шәмші

к.т.н, доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
магистрант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ
БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

84

S.S. Beknazarova, K.K. Beknazarova

Dsc, professor, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad
Al- Khwarizmi, Tashkent, Uzbekistan
Researcher, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-
Khwarizmi, Tashkent, Uzbekistan

PROCEDURAL TEXTURE SYNTHESIS IN 3D RECONSTRUCTION

94

Zh.D. Iztayev, A.E. Timurbekov, B.E. Aidaulet

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Master's student, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Master of Science, Lecturer, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE AND HARDWARE PLATFORMS FOR DIGITAL TWINS AND SIMULATION SYSTEMS IN ROBOTICS EDUCATION

105

П.А. Кожобекова, З.Н. Халкулова, Ж.Д. Изтаев, А.Т. Калбаева, А.Н. Жаксанова

т.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистрант, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

т.ғ.к., аға оқытушы, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

ҚҰЖАТТАМАНЫ БАСҚАРУДАҒЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР: ЭЛЕКТРОНДЫҚ ҚҰЖАТ АЙНАЛЫМЫН ЕНГІЗУДІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

113

П.А.Кожобекова, М.А. Сыздыкова, О.М. Сүлеймен, Ж.Д. Изтаев

т.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистрант, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

магистр, оқытушы, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ ЛАСТАНУДЫ НАҚТЫ УАҚЫТ РЕЖИМІНДЕ МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

121

Т.Д. Кузержбаева, С.Д. Куракбаева, Ж.Д. Изтаев, Г.К. Тагай

магистрант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

к.т.н. профессор, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

к.п.н., ассоциированный профессор, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

магистр, старший преподаватель ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЕГМЕНТАЦИИ РЫНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIG DATA ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО МАРКЕТИНГА

130

B.D. Nurmaganbetov, Ye.M. Altynbek, N.A. Dosmailov, U.B. Abdramanov

engineer, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan

author-developer, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan

director, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan

development engineer, KaspiNet LLP, Shymkent, Kazakhstan

GLOT: MONITORING APPLICATION

141

Е.Д. Сарсембинов, Л.Л. Ла

магистрант, Astana IT University, Астана, Казахстан

к.ф.-м.н., доцент кафедры Информационные системы, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ ANFIS ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

148

Ғылыми журнал

2018 жылдан бастап жылына 4 рет шығарылады

Редактор: Назарбек У.Б.

Жауапты редактор: Айнабеков Н.Б.

Техникалық редактор: Александриди Е.Ю.

Меншік иесі: М. Әуезов атындағы ОҚУ

Журнал Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде
тіркелген № 16794–Ж (14.12.2017 ж.)

26.06.2026 ж. баспаға қол қойылды. Көлемі 9.9 б.т. Тираж 300 дана.
Жазу қағазы. Офсеттік баспа. Тапсырыс № 3981. М. Әуезов атындағы ОҚУ, АҒД
Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5, тел: 21-19-82

