

**ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ  
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ**

# **ХАБАРШЫСЫ**

## **HERALD**

**OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL  
UNIVERSITY**

## **ВЕСТНИК**

**КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Volume 16, Issue 2  
June 2019**

ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
**ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD**  
OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

**ВЕСТНИК**  
КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Алматы

№ 2 (49)

2019

Главный редактор – Ректор КБТУ,  
**Ибрашев К.Н.**

Заместитель главного редактора –  
**Габдуллин М.Т.**

**ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:**

**Акжалова А.Ж., Атсуши Иное, Байгунчехов Ж.Ж., Бекмухаметова З.А.,  
Буркитбаев М.М., Gavin Kretzschmar, Джанг Ванг Ли, Джумадилдаев А.С.,  
Ергожин Е.Е., Еремин Н.А., Журинов М.Ж., Йозеф Монтаг,  
Коробкин В.В., Masakazu Yoshikawa, Мынбаев К.Т., Рамеш Кини,  
Сатубалдин С.С., Скакова А.А., Сулейменов Э.Н., Танекенов А.,  
Умаров Ф.Ф., Харин С.А., Шакуликова Г.Т., Шейх Али Д.М.**

Издание зарегистрировано Министерством культуры и информации  
Республики Казахстан. Свидетельство о постановке на учет  
СМИ № 9757 - Ж от 03.12.2008 г.

Журнал зарегистрирован в Международном центре по регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция)

Подписной индекс - 74206

Издается с 2004 года. Выходит 4 раза в год.

**УЧРЕДИТЕЛЬ**  
Казахстанско-Британский технический университет

ISSN 1998-6688

© Казахстанско-Британский  
технический университет, 2019.

## CONTENTS

### OIL AND GAS ENGINEERING

<b>Abirov R., Ivakhnenko O.P., Eremin N.A.</b> INTEGRATED HYDRAULIC FLOW UNITS ANALYSIS CLASTIC SOUTH TURGAY BASIN'S RESERVOIR.....	7
---	---

### CHEMICAL, TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

<b>Bekzhanov M.A., Akbasova A.D., Saparbayev K.A., Sainova G.A., Baikhamurova M.O.</b> RECLAMATION OF SULFUR CONTAINING WASTES OF OIL AND CHEMICAL INDUSTRIES .....	12
<b>Mongolkhan R.</b> PRODUCTION OF SORBENTS FOR INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT .....	22
<b>Rasulov H.Z., Artykbaev D.Zh., Baibolov K.S.</b> THE SEISMIC THRESHOLD AS A CRITERION FOR THE STABILITY OF THE STRUCTURE OF LOESS SOILS .....	30
<b>Risbayeva G., Sadiyeva K., Darmenbayeva A., Nurlybayeva A., Baybazarova E., Kulbayeva D.</b> PROCESSES FOR THE RECOVERY OF BISMUTH COMPOUNDS FROM THE COMPOSITION OF PHOSPHATE ROCK .....	35
<b>Sadiyeva K.R., Massalimova B.K., Nauruzbekov Z.K., Kulazhanova A.S.</b> THE EXTRACTION OF ZINC COMPOUNDS FROM PHOSPHORITES OF THE KARATAU ORE AND SYNTHESIS OF ZINC-CONTAINING NANOPARTICLES .....	41
<b>Seitbekova G.A., Nurlybayeva A., Kulbaeva D.A., Aknazar A., Sagyndyk U.</b> IR - SPECTROSCOPIC METHOD OF RESEARCH OF THE STRUCTURE OF THE COMPLEX ALUMINUM COPPER.....	51
<b>Toshtay K., Toktasynov S.K., Aubakirov E.A., Bashirbaeva R.S.</b> HYDROGENATION OF POLY- $\alpha$ -OLEFINS ON SUPPORTED PALLADIUM CATALYSTS.....	60

### PHYSICAL, MATHEMATICAL AND TECHNICAL SCIENCES

<b>Baigunchekov Zh., Azamat Mustafa, Kairov R., Kassinov A.N.</b> STRUCTURAL SYNTHESIS AND GEOMETRY OF 3-PRRS AND 3-PRPS TYPE PARALLEL MANIPULATORS.....	67
<b>Baigunchekov Zh.Zh., Amanov B.O., Turgunboyev D.A.</b> DEVELOPMENT OF QAZROBO HUMANOID ROBOT.....	72
<b>Baigunchekov Zh.Zh., Kairov R.</b> INVERSE KINEMATICS OF 3PRRS TYPE PARALLEL MANIPULATOR .....	77
<b>Baigunchekov Zh.Zh., Kassinov A.</b> INVERSE KINEMATICS OF 3-PRPS TYPE PARALLEL MANIPULATOR .....	82
<b>Bolatbek S.B., Auezova A.M.</b> RESEARCH AND COMPARISON OF EXISTING CIRCUIT-TECHNICAL SOLUTIONS FOR LED POWER SOURCES.....	87
<b>Zhukeshov, A.M., Gabdullina A.T., Amrenova, A.U., Mukhamedryskyzy M.</b> THE FORMATION OF NANOSIZED SPHERICAL PARTICLES BY SPUTTERING TARGET WITH PULSED PLASMA FLOWS .....	97

<b>Ibrayev S.M., Aidasheva G., Jamalov N.K., Ibrayev A.S., Muhambetkalieva G.M.</b> OPTIMAL SYNTHESIS OF LEG MECHANISM FOR WALKING VEHICLE.....	102
<b>Kerimbekov Y., Seiitkamal Ye.S.</b> APPLICATION LORENTZ METRICS IN PATTERN RECOGNITION .....	108
<b>Kolesnikova I.V., Marlen D.</b> COMPOSITION OF CEMENT DRY MIXES FOR SELF-LEVELING SCREED UNDER THE FLOORING WITH THE USE OF THE MICROSPHERES OF THE ENERGY EVILS OF KAZAKHSTAN.....	115
<b>Mamyrbayev O., Kydyrbekova A.S., Akhmediyarova A., Turdalyuly M., Mekebayev N.</b> SYSTEMATIC REVIEW AND ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF IDENTIFICATION BY VOICE .....	120
<b>Mamyrbayev O., Turdalyuly M., Mekebayev N., Turdalykyzy T., Shayakhmetova A.</b> AUTOMATIC KAZAKH SPEECH RECOGNITION WITH DNN.....	134
<b>Minglibayev M.Zh., Bizhanova S.B.</b> DIFFERENTIAL EQUATION OF TRANSLATIONAL – ROTATIONAL MOTION OF TWO NONSTATIONARY AXISYMMETRIC BODIES .....	143
<b>Rakhmet N.B., Orynbekov Ye.S., Sartayev D.T.</b> THE INFLUENCE OF MINERAL-ACTIVE RAW MATERIALS ON THE PROPERTIES OF DRY CONSTRUCTION MIXTURES .....	150
<b>Samigulina G.A., Masimkanova Zh.A.</b> MULTIFUNCTIONAL MULTI-AGENT SMART-SYSTEM BASED ON MODIFIED SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS.....	157
<b>Tashenova Zh.M., Kadirova Zh.B., Nurlybaeva E.N., Amanzholova Sh.A.</b> MATHEMATICAL MODELS IN SOIL PROCESSES.....	165
<b>Tolebi G., Kurmankhojayev D.</b> TRAFFIC DEMAND ESTIMATION BASED ON OFFLINE TRAINED ARTIFICIAL NEURAL NETWORK.....	170
<b>Tukeshova G., Merkibayeva B.</b> STUDY OF THE KINEMATICS OF THE SIX-MEMBERED MECHANISM OF ASSUR GROUP IV OF CLASS II ORDER .....	175
 <b>ECONOMICS AND SOCIAL SCIENCES</b>	
<b>Bissenbayeva D.</b> MODERNIZATION OF TECHNICAL AND VOCATIONAL EDUCATION: PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS .....	181
<b>Ordabaev A., Taikulakova G.</b> EFFICIENT MANAGEMENT AS A SUCCESS CATALYST .....	185
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS.....</b>	194

## СОДЕРЖАНИЕ

### НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

<b>Абиров Р., Ивахненко А.П., Еремин Н.А.</b> КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИГЕННОГО КОЛЛЕКТОРА ЮЖНО-ТУРГАЙСКОГО БАССЕЙНА ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ЕДИНИЦАМИ ПОТОКА .....	7
---	---

### ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

<b>Бекжанов М.А., Акбасова А.Д., Сапарбаев К.А., Саинова Г.А., Байхамурова М.О.</b> УТИЛИЗАЦИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НЕФТЯНОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЕЙ .....	12
<b>Монголхан Р.</b> ПРОИЗВОДСТВО СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ...	22
<b>Расулов Х.З., Артыкбаев Д.Ж., Байболов К.С.</b> ПОРОГ СЕЙСМОПРОСАДОЧНОСТИ КАК КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ .....	30
<b>Рисбаева Г.Б., Садиева Х.Р., Дарменбаева А.С., Нурлыбаева А.Н., Байбазарова Э.А., Кулбаева Д.А.</b> ПРОЦЕССЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ВИСМУТА ИЗ СОСТАВА ФОСФОРИТНОГО СЫРЬЯ .....	35
<b>Садиева Х.Р., Масалимова Б.Қ., Наурузбеков Ж.К., Құлажанова А.С.</b> ВЫДЕЛЕНИЕ ЦИНКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ФОСФОРИТОВ КАРАТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И СИНТЕЗ ЦИНКОСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ .....	41
<b>Сейтбекова Г.А., Нурлыбаева А.Н., Кулбаева Д.А., Ақназар У., Сағындық У.</b> ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЙМЕДНОГО КОМПЛЕКСА .....	51
<b>Тоштай К., Токтасынов С.К., Аубакиров Е.А., Баширбаева Р.С.</b> ГИДРИРОВАНИЕ ПОЛИ- $\alpha$ -ОЛЕФИНОВЫХ МАСЕЛ НА НАНЕСЕННЫХ ПАЛЛАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ .....	60

### ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Байгунчеков Ж.Ж., Мустафа А.Қ., Кайыров Р.А., Касинов А.Н.</b> СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ И ГЕОМЕТРИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ ВИДА 3-PRRS И 3-PRPS .....	67
<b>Байгунчеков Ж.Ж., Аманов Б.О., Тургунбоев Д.А.</b> РАЗРАБОТКА ГУМАНОИДНОГО РОБОТА QAZROVO .....	72
<b>Байгунчеков Ж.Ж., Кайыров Р.А.</b> ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ВИДА 3-PRRS .....	77
<b>Байгунчеков Ж.Ж., Касинов А.Н.</b> ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ВИДА 3-PRPS .....	82
<b>Болатбек С.Б., Ауэзова А.М.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ .....	87

<b>Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Амренова А.У., Мухамедрысқызы М.</b> ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ МИШЕНИ ИМПУЛЬСНЫМИ ПОТОКАМИ ПЛАЗМЫ .....	97
<b>Ибраев С.М., Айдашева Г.А., Джамалов Н.К., Ибраев А.С., Мухамбеткалиева Г.М.</b> ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ МЕХАНИЗМА НОГИ ДЛЯ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ.....	102
<b>Керімбеков Е.Р., Сейіткамал Е.С.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ЛОРЕНЦОВОЙ МЕТРИКИ В РАСПОЗНАВАНИИ ОБРАЗОВ .....	108
<b>Колесникова И.В., Диас М.</b> КОМПОЗИЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ САМОНИВЕЛИРУЮЩИХСЯ СТЯЖЕК ПОД ПОКРЫТИЕ ПОЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОСФЕР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОЛ КАЗАХСТАНА .....	115
<b>Мамырбаев О.Ж., Кыдырбекова А.С., Ахмедиярова А.Т., Тұрдалыұлы М., Мекебаев Н.О.</b> СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ГОЛОСУ .....	120
<b>Мамырбаев О.Ж., Тұрдалыұлы М., Мекебаев Н.О., Тұрдалықызы Т., Шаяхметова А.С.</b> АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ КАЗАХСКОЙ РЕЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DNN.....	134
<b>Минглибаев М.Д., Бижанова С.Б.</b> ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ТЕЛ.....	143
<b>Рахмет Н.Б., Орынбеков Е.С., Сартаев Д.Т.</b> ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНО-АКТИВНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ .....	150
<b>Самигулина Г.А., Масимканова Ж.А.</b> МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ SMART-СИСТЕМА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА .....	157
<b>Ташенова Ж.М., Кадирова Ж.Б., Нурлыбаева Е.Н., Аманжолова Ш.А.</b> МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ .....	165
<b>Төлеби Г., Курманходжаев Д.</b> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТОКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ОФФЛАЙН ОБУЧЕННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ .....	170
<b>Тукешова Г.А., Меркибаева Б.М.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ШЕСТИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА ГРУППЫ АССУРА IV КЛАССА II ПОРЯДКА .....	175
<b>ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b>	
<b>Бисенбаева Д.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ .....	181
<b>Ордабаев А.А., Тайкулакова Г.С.</b> ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ КАК КАТАЛИЗАТОР УСПЕХА .....	185
<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....</b>	194

# НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

---

УДК 622.276  
МРНТИ 38.53

## INTEGRATED HYDRAULIC FLOW UNITS ANALYSIS CLASTIC SOUTH TURGAY BASIN'S RESERVOIR

R. ABIROV<sup>1</sup>, O.P. IVAKHNENKO<sup>1</sup>, N.A. EREMIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Geoscience, KBTU

<sup>2</sup>Gubkin Russian State University of Oil and Gas

**Abstract:** In following paper different hydraulic flow units approaches has been researched applied to the Kazakhstan reservoir. Hydraulic Flow Units method is the petrophysical method to understand the reservoir by dividing it to units with the same flow characteristics. This methodology uses core data to develop an understanding of the complex variations in pore geometry within different lithofacies. Similar flow characteristics is controlled by the pore geometry of the rock. In other words Hydraulic flow unit can be described as: total reservoir rock within which geological and petrophysical properties that affect fluid flow are internally consistent and predictably different from properties of other rock volumes.

Winland R35 method have been applied to classify core data from different reservoirs. Turgay Basin's sandstone has evaluated comparing to limestone and shale reservoirs through RQI's and R35 Winland plot. We can say that this reservoir very heterogeneous and is mainly in conventional and fast delivery reservoirs area. Reservoir quality index has been applied to distinguish the type of reservoir using plot of South Turgay's basin reservoir comparing to Tengiz oilfield petrophysical data and Bakken shale oil reservoir permeability and porosity data.

**Keywords:** Hydraulic Flow Units, Petrophysics, Reservoir heterogeneity, Permeability Flow, Winland R35 plot

## ОҢТҮСТІК ТОРҒАЙ БАССЕЙНІНІҢ ШӨГІНДІ ТАУ ЖЫНЫС КОЛЛЕКТОРЫНЫҢ ГИДРАВЛИКАЛЫҚ АҒЫМ БІРЛІКТЕРІМЕН КОМПЛЕКСТІК ТАЛДАУ

**Аңдатпа:** Осы мақалада гидравликалық ағым бірліктердің Қазақстан Республикасында орналасқан коллекторға талдау әдістері қарастырылған. Гидравликалық ағым бірліктер коллекторды бірнеше сипаттамалары ұқсас блоктарға бөліп талдау петрофизикалық әдісі. Осы әдістеме кеуектердің геометриясын бір литофациясындағы өзгерістерді анықтауға арналған. Басқаша айтқанда, гидравликалық ағым бірлігін былай сипаттауға болады: бір қабаттың тау жынысының ішіндегі петрофизикалық және геологиялық қасиеттері флюидтің ағымына әсер етіп, басқа тау жыныстан ажыратылуы туралы. Осы зерттеуде Winland R35 әдісі керннің петрофизикалық қасиеттерін талдау үшін қолданған. Талдау бойынша коллектор өте біртекті емес екенін және көп таралған және беріштігі мол коллекторларға жататыны көрсетілген. Коллектордың сапа индексі коллектордың сапасын Теңіз және Баккен кенорындарының петрофизикалық ақпаратпен салыстырылып анықталған.

**Түйінді сөздер:** гидравликалық ағым бірліктер, петрофизика, коллектордың біртекті еместігі, өткізгіштік ағым, Винланд R35 графигі

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИГЕННОГО КОЛЛЕКТОРА ЮЖНО-ТУРГАЙСКОГО БАСЕЙНА ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ЕДИНИЦАМИ ПОТОКА

**Аннотация:** В этой статье были исследованы различные подходы применения гидравлических единиц потоков применительно к Казахстанскому коллектору. Метод гидравлических потоковых единиц – это петрофизический метод, позволяющий описать пласт, разделив его на блоки с одинаковыми характеристиками потока. Эта методология использует основные данные, чтобы развить понимание сложных изменений в геометрии пор в пределах различных литофаций. Подобные характеристики потока контролируются геометрией пор породы. Другими словами, гидравлическая единица потока может быть описана как: общая пластовая порода, в пределах которой геологические и петрофизические свойства, которые влияют на поток флюида, внутренне согласованы и предсказуемо отличаются от свойств других объемов породы. Метод Winland R35 был применен для классификации данных ядра из разных коллекторов. Песчаник в Тургайском бассейне был описан в сравнении с известняковыми и сланцевыми коллекторами по графикам RQI и Winland R35. Можно сказать, что этот коллектор очень неоднороден и находится, в основном, в зоне широко распространенных и хорошо извлекаемых коллекторов. Индекс качества коллекторов был применен для определения качества коллекторов с использованием графика по сравнению с петрофизическими данными месторождения Тенгиз и Баккенского сланца.

**Ключевые слова:** гидравлические единицы потока, петрофизика, гетерогенность коллектора, поток в проницаемости, график Винланд R35

### 1. Introduction

In following paper we analyzed Sandstone reservoir from the Kazakhstan's South Turgay basin's T-field by the Hydraulic Flow Unit method. As we can conclude field has not been analyzed using HFU method before.

Hydraulic Flow Unit method theory was firstly suggested by Amaefule et al [1] and developed by the further researchers.[2]

Hydraulic Flow Units method is the petrophysical method to understand the reservoir by dividing it to units with the same flow characteristics. This methodology “ uses core data to develop an understanding of the complex variations in pore geometry within different lithofacies.”[1] Similar flow characteristics is controlled by the pore geometry of the rock. In other words Hydraulic flow unit can be described as: “total reservoir rock within which geological and petrophysical properties that affect fluid flow are internally consistent and predictably different from properties of other rock volumes.”<sup>2</sup>

Hydraulic units are related to geologic facies distribution. But do not necessarily coincide with facies boundaries. Therefore, hydraulic units may not be vertically contiguous. Hydraulic units are often defined by (a) geological attributes of texture, mineralogy, sedimentary structures,

bedding contacts and nature of permeability barriers and by (h) petrophysical properties of porosity, permeability and capillary pressure. [1]

Permeability can be evaluated using following equation:

$$k=1014*FZI^2 * \frac{\phi_s^2}{(1-\phi_s)^2(1-\phi_s)^2} \quad (1)$$

where 1014 is the conversion factor for permeability from  $\mu\text{m}$  to mD.(Svirskyi et al)[3]. Hydraulic flow units can be used for prediction and classification of the two phase properties of the rock such relative permeabilities and capillary pressure.[3]

“Theory of the HFU approach classification is based on assumption, that porous medium can be represented by a bundle of capillary tubes. Combination of Darcy's law and Poiseuille's law for straight cylindrical tubes yields following relationship” :

$$k = \frac{r^2}{8} \phi_s \frac{r^2}{8} \phi_s \quad (2)$$

The relation between porosity and permeability depends on geometrical characteristics of the pore space - pore size (radius) and pore shape (here, 8 - for cylindrical tubes). For a realistic porous medium Kozeny

and Carmen have modified Eq. 1 by adding a tortuosity factor  $\tau$  and using mean hydraulic radius, expressed through surface area per unit grain volume  $S_{gv}$ . The resulting generalized of Kozeny-Carmen equation has the following form:

$$k = \frac{\phi_s^3}{(1-\phi_s)^2} \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \frac{\phi_s^3}{(1-\phi_s)^2} \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \quad (3)$$

where  $F_s$  is the shape factor,  $k$  is in  $\mu m^2$  and  $\phi_s$  is a fraction.

The group  $F_s \tau^2$  is known as the Kozeny constant and was a main limitation in previous attempts to use Eq. 3 for calculation permeability, because actual values of the Kozeny constant are usually not known for particular rocks, and the term  $S_{gv}^2$  was not accounted in calculations.

The HFU approach addresses variability of the Kozeny constant and the term  $S_{gv}^2$  term by classifying parameter FZI (flow zone indicator), which includes all major geological and geometrical characteristics of a porous medium:

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau^2 S_{gv}^2}} \frac{1}{\sqrt{F_s \tau^2 S_{gv}^2}} \quad (4)$$

The idea of the HFU approach is to group data according to the FZI values and other petrophysical information using various statistical and graphical methods to obtain classification of the HFU.

To simplify graphical analysis of the data, two additional parameters, RQI (reservoir quality index) and  $\phi_z$  (ratio of pore volume to grain volume) are defined:

$$RQI = \sqrt{\frac{k}{\phi_s}} \sqrt{\frac{k}{\phi_s}} \quad (5)$$

$$\phi_z = \frac{\phi_s}{1-\phi_s} \frac{\phi_s}{1-\phi_s} \quad (6)$$

Using the above parameters, Eq. 8 can be rearranged as follows:

$$\log RQI = \log \phi_z + \log FZI \quad (7)$$

According to Eq. 7, a log-log plot of  $RQI$  vs  $\phi_z$  yields a straight line with unit slope and the

intercept equal to FZI. Hence, all data points corresponding to one HFU should lie on the same line.[1]

## 2. Conventional and unconventional resources petrophysical properties comparison

Generally, hydrocarbon resources reservoirs can be classified by the flow units to get better understanding of the reservoir analogues and overall understanding of reservoir properties.

Endowment is the summation of cumulative gas production, reserves and undiscovered gas. Delivery speed, which controls the definition of flow units considered in this research, decreases as we move down the pyramid from conventional to unconventional gas reservoirs. [4]

### Conventional and Unconventional Reservoirs

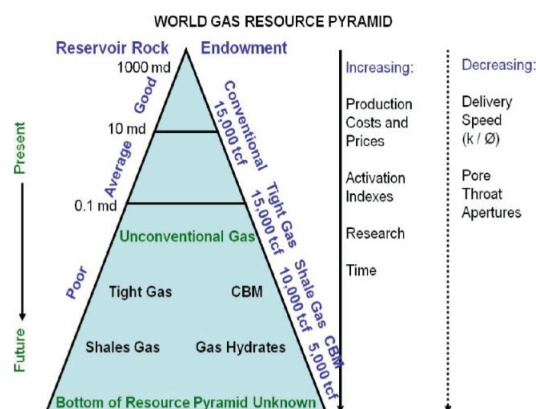


Fig.1 - World Gas Resources pyramid showing endowment of conventional gas, tight gas, shale gas and coalbed methane reservoirs (Adapted from Aguilera et al., 2008).

Turgay basin's sandstone reservoir has porosity 15-22% and permeability 0.031 to 0.22mD and Tengiz limestone reservoir has porosity and permeability, comparing to 0.1-24% and permeability 1 to 30 mD, while Bakken Shale porosity 5% and permeability 0.04 mD.

Making different range of the conventional and unconventional resources porosity and permeability study we can easily classify other potential oilfields to the groups according to analogues. Analogue fields can be act as references and case studies to develop oilfield or make geological model.

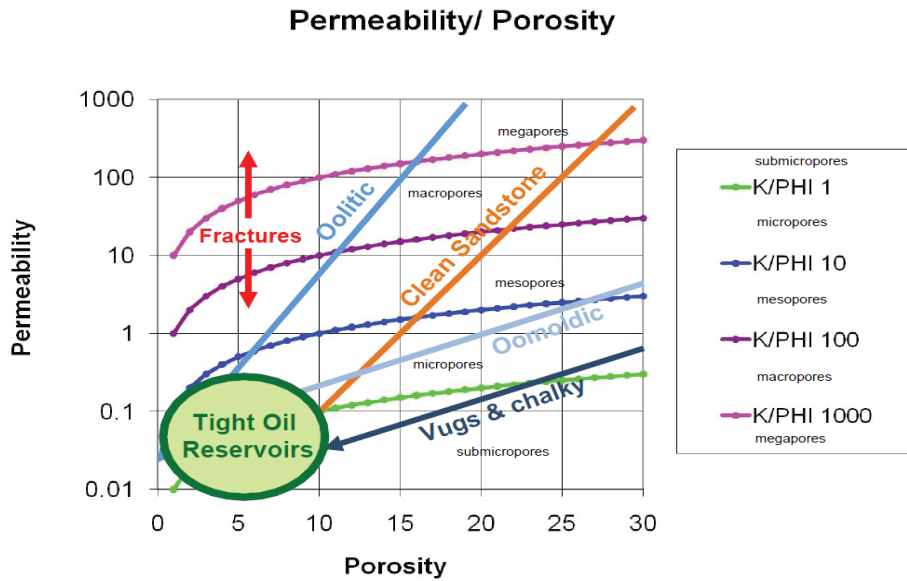


Fig.2-Permeability-Porosity relationship for different pore sizes. From Steve Sonnenberg, Colorado school of mine, Core analysis and Unconventional Reservoirs [5]

As we can see from fig. 2 – different rocks has different pore size that depends on porosity-permeability. In this case South Turgay basin’s sandstone will be in mesopores and macropores area. That is in conventional reservoirs classification.

Another petrophysical statistical method applied in this study is Reservoir Quality Index

that can be used to describe the reservoir property. Plotting data of three types of reservoirs (Fig. 3) sandstone, shale and limestone can help to classify our reservoirs according to flow units. As we can see in plot tight reservoirs can have even lower RQI than the shale reservoirs.

Figure 4 demonstrates that shale reservoirs laying in the 0,5 micron aperture size (microport)

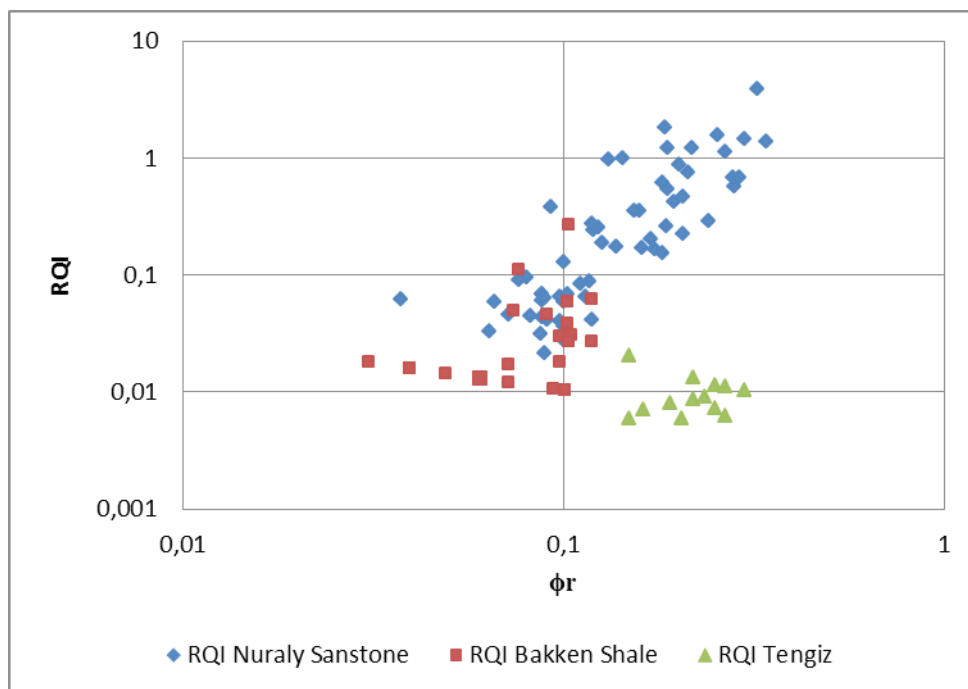


Fig.3 - RQI -  $\phi_r$  - plot of the Sandstone (Nuraly), Shale (Bakken) and Carbonate (Tengiz) types of reservoirs.

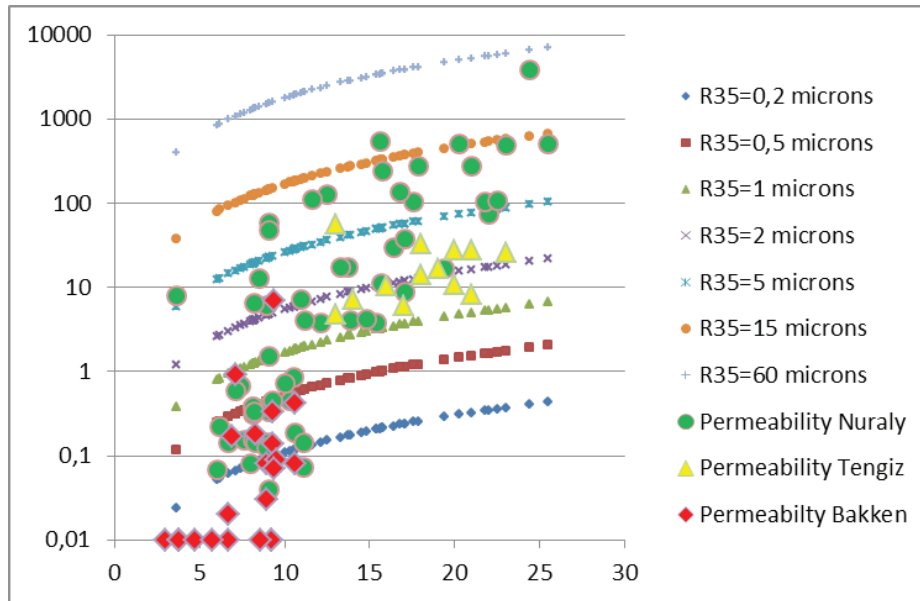


Fig.4 – Winland r35 plot of the Sandstone (Nuraly), Shale (Bakken) and Carbonate (Tengiz) types of reservoirs.

area. Sandstone reservoir has biggest aperture size – megaport type. While the carbonate is laying mostly in mesoport area  $r > 1$  micron. That plot shows same properties as figure 2.

### Conclusion

Study gives a understanding of geology of the reservoir and can be used for net pay off estimation. Heterogeneity of reservoir can be evaluated with this methods. That will can be used for EOR studies like polymer injection.

Turgay Basin’s sandstone has evaluated comparing to limestone and shale reservoirs through RQI’s and r35 Windland plot. We can say that this reservoir very heterogeneous and

is mainly in conventional and fast delivery reservoirs area.

### Nomenclature

- FZI – Flow Zone Indicator
- GR – gamma ray response
- HFU – Hydraulic Flow Unit
- k – permeability
- r - poreradius
- RQI – reservoir quality index
- Sgv – surface area per unit grain volume
- $\phi_e$  – effective porosity
- $\phi_z$  – ratio of pore volume to grain volume
- $\rho$  – density
- $\tau$  – tortuosity factor

### REFERENCES

1. Amaefule, J.O, Altunbay, M., Tiab, D, Kersey, D.G., and Keelan, D.K.: “Enhanced Reservoir Description: Using core and log data to identify Hydraulic (Flow) Units and predict permeability in uncored intervals/wells”, SPE 26436, presented at 68th Ann. Tech. Conf. And Exhibit., Houston, Tx, 1993.
2. Abbaszadeh, M., Fujii, H., Fujimoto, F.: “Permeability Prediction by Hydraulic Flow Units - Theory and Applications” SPE Formation Evaluation Journal, December 1996, 263-271.
3. Dmitry Svirsky, Ryazanov, A., and Michael Pankov, Patrick WM Corbett, AndreyPosysoev “Hydraulic Flow Units Resolve Reservoir Description Challenges in a Siberian Oil Field”
4. AguileraR., SchulichFlow Units: From Conventional to Tight Gas to Shale Gas Reservoirs, School of Engineering/University of Calgary, SPE 132845
5. Steve Sonnenberg, Colorado school of mine, Core analysis and Unconventional Reservoirs, presentation, 2007

# ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

---

УДК 658.567.1  
МРНТИ 31.15.33

## УТИЛИЗАЦИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НЕФТЯНОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЕЙ

М.А. БЕКЖАНОВ<sup>1</sup>, А.Д. АКБАСОВА<sup>2</sup>, К.А. САПАРБАЕВ<sup>1</sup>,  
Г.А. САИНОВА<sup>2</sup>, М.О. БАЙХАМУРОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ТОО «СКЗ-У»

<sup>2</sup>Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмета Ясави

<sup>3</sup>Казахский Национальный аграрный университет

**Аннотация:** Объектом исследования являются серосодержащие отходы нефтяной и химической отраслей промышленности и продукты их переработки, а также биопрепараты, полученные на их основе.

Цель работы – разработка способов утилизации серных отходов с получением новых товарных продуктов, в составах которых имеются биологически активные, удобрительные, мелиорирующие и другие полезные свойства.

На базе теоретических и экспериментальных исследований предложены новые технологически эффективные пути переработки и реализации сероперлитсодержащих отходов ТОО «СКЗ-У», образующихся при производстве серной кислоты из отхода серы нефтяной промышленности.

Установлена возможность получения на основе продуктов утилизации серосодержащих отходов сернокислотного производства и серных отходов нефтяной промышленности новых биологически активных препаратов различного назначения, например, лечебно-профилактических средств и удобрений-мелиорантов.

Предложен способ обработки горячей водой сероперлитсодержащего фильтрационного отхода сернокислотного производства для разделения растворимых (сульфаты, гидросульфаты, тиосульфаты, полисульфиды, гидроксиды) и нерастворимых соединений (сера, перлит и другие). На основе водного экстракта разработан новый композиционный состав для эффективного лечения трихофитии сельскохозяйственных животных. С нерастворимой в воде частью сероперлитсодержащего отхода проведены полевые испытания, результаты которых позволили сделать рекомендацию о целесообразности ее применения в качестве удобрения-мелиоранта для улучшения физико-химических свойств сероземов и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** нефтяная и химическая промышленность, серный отход, утилизация, серная кислота, фильтрационный отход, биологически активные вещества, трихофития, мелиорант

## RECLAMATION OF SULFUR CONTAINING WASTES OF OIL AND CHEMICAL INDUSTRIES

**Abstract:** The investigation object is sulfur-containing wastes from the oil and chemical industries and products of their processing, as well as biological preparations obtained from them.

The work object is to develop methods for the recovery of sulfur waste with the production of new commercial products with biologically active, fertilizing, reclamative and other useful properties.

*The new technologically efficient ways of processing and selling sulfur perlite containing wastes of TOO «СКЗ-У» LLP are proposed on the theoretical and experimental investigation base. Which are formed during the production of sulfuric acid from sulfur waste of the oil industry.*

*The possibility of obtaining new biologically active preparations for various purposes, for example, medical-and-prophylactic means and fertilizer ameliorants was established on the basis of utilization products of sulfur-containing wastes of sulfuric acid production and sulfur wastes of the oil industry.*

*A method is proposed for treating the sulfur perlite-containing filtration waste of sulfuric acid production with a hot water for the separation of soluble (sulfates, hydrosulfates, thiosulfates, polysulfides, hydroxides) and insoluble compounds (sulfur; perlite and others). On the basis of an aqueous extract, a new composition has been developed for the effective treatment of trichophytosis of farm animals. The field tests were carried out with the water-insoluble part of sulfur perlite- containing waste, the results of which allowed us to make a recommendation on the advisability of its use as an reclamative fertilizer for improving the physico-chemical properties of sierozems and increase crop yields.*

**Keywords:** oil and chemical industries, sulfur waste, reclamation, sulfuric acid, filtration waste, biologically active substances, trichophytosis, ameliorant

## КҮКІРТ ЖӘНЕ МҰНАЙ ӨНЕРКӘСІПТЕРІНІҢ КҮКІРТ ҚҰРАМДЫ ҚАЛДЫҚТАРЫН ҚАЙТА ӨНДЕУ

**Аңдатпа:** Зерттеу жұмысының нысаны ретінде мұнай және химия өнеркәсіптеріндегі күкірт қалдықтары және олардың өнімдері, қалдықтар негізінде алынған биопрепараттар.

Жұмыстың мақсаты – күкірт қалдықтарын утильдеу арқылы биологиялық белсенділік, тыңайтқыштық, мелиоранттық және басқа да пайдалы қасиеттер тән жаңа тауарлық өнімдерді алу әдістерін жасау.

Теориялық және тәжірибелік зерттеулер негізінде мұнай өнеркәсібінің күкірт қалдығынан «СКЗ-У» ЖШС күкірт қышқылын алғанда түзілген күкіртперлит құрамды қалдықты өңдеу мен жүзеге асырудың технологиялық тұрғыдан тиімді жаңа жолдары анықталды.

Мұнай өнеркәсібінің күкірт және күкірт қышқылы өндірісінің күкірт құрамды қалдықтарын қайта өңдеу негізінде алынған өнімдерден түрлі қолданысқа бағытталған жаңа биологиялық белсенді препараттар алу мүмкіншілігі көрсетілген, мысалы, емдеу-профилактикалық құралдар мен тыңайтқыштар, мелиоранттар.

Күкірт қышқылы өндірісінің күкіртперлит құрамды сүзгілік қалдықтарын еритін (сульфаты, гидросульфаты, тиосульфаты, полисульфиді, гидроксиді) және ерімейтін (күкірт, перлит және т.б) қосылыстарға бөлу үшін ыстық сумен өңдеу әдісі ұсынылды.

Сулы экстракт негізінде трихофития ауруына шалдыққан ауылышаруашылық жануарларын толыққанды емдеу үшін жаңа композициялық құрам жасалды. Күкіртперлит құрамды қалдықтарының суда ерімейтін бөлігімен далалық зерттеулер жүргізілді. Зерттеу нәтижелері оны тыңайтқыш – мелиорант ретінде сұр топырақтың физикалық-химиялық қасиеттерін жақсартуға, ауылышаруашылық өнімдерінің өнімділігін жогарылатуға қолдану қажеттілігі туралы тұжырым жасауға арқау болды.

**Түйінді сөздер:** химия және мұнай өнеркәсіптері, күкірт қалдықтары, қайта өңдеу, күкірт қышқылы, сүзгілік қалдық, биологиялық белсенді заттар, трихофития, мелиорант

### Введение

Нефтегазодобывающая отрасль – одна из самых экологически опасных отраслей хозяйствования [1]. Наибольшую опасность в зоне Каспия представляет добыча Тенгизского месторождения, которая очень богата серосодер-

жащими соединениями. В процессе очистки сырой нефти и газа от сероводорода получается сопутствующий продукт – элементарная сера [2].

Тенгизская сера, имеющая наивысшую в мире степень чистоты – 99,99%, является вполне конкурентоспособным продуктом. Серу получают в жидком, гранулированном, чешуирированном и дробленном видах [3-4]. Учитывая ценность данного коммерческого продукта, предприятием ТОО «СКЗ-У» (Жанакорганский район, Кызылординская область) своевременно найден успешный путь ее реализации. Организовано для удовлетворения нужд урановой промышленности производство серной кислоты. Данный подход позволяет решить ряд задач как экологического, так и экономического характеров.

Как известно, отход серы в экологическом плане является проблематичным, что характеризуется с ее достаточно высокой химической активностью [5-6]. Сера обладает способностью легко вступать во взаимодействие со многими компонентами окружающей среды с образованием ряда токсичных веществ [7]. Наряду с этим, особенно в жаркие летние месяцы в результате повышения температуры воздуха, также имеет место выделение из отходов серы канцерогенных веществ – меркаптанов и сильно токсичного сероводорода в окружающую среду. Данные соединения являются основными примесями, содержащимися в рассматриваемом серном отходе нефтяной промышленности [8]. В связи с этим нахождение реальных путей использования серного отхода позволяет оздоровить в Каспийском регионе окружающую природную среду не только в местах их образования, но и в местах их хранения.

Применение отхода серы нефтяной промышленности в качестве вторичного сырья для получения серной кислоты и других товарных продуктов является с экономической точки зрения выгодной по сравнению с другими технологиями их получения из природных сырьевых ресурсов.

На наш взгляд, научно-практический интерес представляет использование серосодержащих отходов нефтяной, химической и других отраслей промышленности для получения не только серной кислоты, но и ряда других товарных продуктов. Например, можно осуществить синтез новых экологически безо-

пасных биологически активных препаратов (ростостимулирующих, дезинфицирующих и т.д.) как органической, так и неорганической природы [9-11]. Серосодержащие отходы можно также утилизировать целенаправленно для получения удобрительно-мелиорирующих смесей, строительных и других материалов, которые могут быть реализованы для удовлетворения различных производственно-хозяйственных нужд [12-13].

Целью данной работы является исследование состава и свойств серосодержащего отхода сернокислотного производства и их утилизация с получением новых товарных продуктов, обладающих биологически активными, удобрительными, мелиорирующими и другими полезными свойствами.

#### **Объекты и методы исследования**

В качестве объектов исследования выбраны серные отходы нефтяной промышленности, фильтрационный серосодержащий отход сернокислотного производства ТОО «СКЗ-У» и полученные на его основе комплексные биологически активные составы, крупный рогатый скот, серозем и сельскохозяйственные культуры – кукуруза, картофель, свекла, морковь, клевер.

Образцы почв отобраны из слоя 0-20 см, они имели следующие физические и химические показатели: содержание гумуса – 1,2%; pH – 7,1; содержание обменного  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  – 9,9 и 0,6 мг-экв/100 г почвы, соответственно; емкость катионного обмена – 22,1 мг-экв/100 г почвы; обменного  $K_2O$  – 10,6 мг-экв/100 г почвы, содержание физической глины – 52,6%, ила 29,4%; подвижного  $P_2O_5$  – 4,5 мг /100 г почвы. В исследуемые почвы в качестве удобрения-мелиоранта были внесены сероперлитсодержащий фильтрационный отход (ФО), биогумус или их смеси. На основе лабораторных исследований подобрано следующее оптимальное соотношение почва: сероперлитсодержащий фильтрационный отход: вермикомпост = 1 : 1 : 0,1. Натурные исследования проводились на делянках с общей площадью – 150 м<sup>2</sup>, с учетной – 95,5 м<sup>2</sup>. Повторность опытов четырехкратная.

Извлечение из фильтрационного отхода (ФО) растворимых соединений серы проведено его многократное кипячение в течение 15 минут в свежих порциях дистиллированной воды. Общее массовое соотношение ФО:- $H_2O=1:5$ , оптимальность которого установлено на основе экспериментальных лабораторных исследований.

Химический состав перлита, фильтрационного отхода до и после обработки водой, содержание различных форм серосодержащих анионов в водных вытяжках определено с использованием известных классических методов [14-15].

### Результаты и обсуждение

На сернокислотном заводе перед использованием серы в качестве сырья для получения серной кислоты предварительно проводят ее очистку от золы и других посторонних нежелательных примесей. При наличии этих примесей в исходном сырье снижается активность ванадиевого катализатора ( $V_2O_5$ ), используемого в стадии получения оксида серы (VI). Для проведения процесса очистки от примесей пары расплавленной серы пропускают через фильтрационный материал. Затем фильтрационный осадок высушивается при

помощи пара. В качестве исходного фильтрационного материала применяется смесь перлита, карбоната и гидроксида кальция. После технологического цикла фильтрационный материал превращается в спекшуюся серую кускообразную массу и в своем составе кроме основных исходных компонентов содержит различные соединения серы.

Предложены 2 метода утилизации фильтрационного отхода (ФО):

- 1) обработка кипяченной водой с получением твердой и жидкой фаз;
- 2) нейтрализация pH фильтрационного отхода кислыми стоками производства, содержащие серную кислоту.

Результаты химического анализа состава исходного перлита, фильтрационного отхода до и после обработки водой представлены в таблицах 1-3.

Из фильтрационного осадка после кипячения с водой получены твердый продукт и водные растворы (1-й метод утилизации). С целью выяснения возможности их применения в сельском хозяйстве проведен ряд научных экспериментальных исследований с твердыми и жидкими продуктами, а также нейтрализованным фильтрационным отходом (2-й метод утилизации).

**Таблица 1 – Содержание основных компонентов в исходном перлите и фильтрационном отходе (после промывки), %**

Объекты исследований	Потери при прокаливании	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	H <sub>2</sub> O
Перлит	2,8	74,7	8,29	0,71	3,7	0,78	0,4	6,2
Фильтрационный отход	44,2	17,5	7,79	0,97	8,67	0,13	14,5	0,2

**Таблица 2 – Состав фильтрационного отхода после использования и индекс его опасности**

№	Название компонентов	Содержание, %	Индекс опасности
1	Гипс	4,9	2,63
2	Зольный остаток	29,5	6,16
3	Известь	2,7	0,76
4	Органика	1,4	0,29
5	Перлит	1,5	0,58
6	Соединения серы	60	46,58

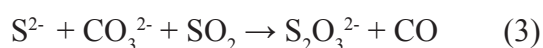
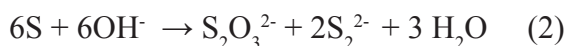
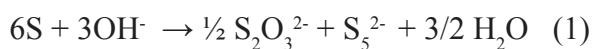
**Таблица 3 – Содержание основных компонентов в фильтрах, полученных при термической обработке фильтрационного отхода водой, мг/дм<sup>3</sup>**

№ фильтратов	pH	S <sup>2-</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe (общее)
1	10,1	824,9	36,9	2914,6	3,8	425,3	0,2
2	9,8	731,5	30,8	1838,4	3,6	323,1	0,2
3	9,8	479,4	27,5	1121,0	3,6	261,7	0,2
4	9,7	378,3	25,0	1300,0	3,7	253,6	0,1
5	9,5	342,4	19,2	941,6	3,6	245,4	0,1

Как показали результаты экспериментальных исследований состав фильтрационного отхода до и после обработки водой резко отличается по основным компонентам. В промытом фильтрационном отходе содержание элементной серы около 14,5%, оксида кремния – 17,5%.

Растворимые соединения серы и других элементов из фильтрационного отхода при обработке водой переходят в водную фазу. Полученная жидкая фаза имеет щелочную реакцию, значения pH = 9,5-10,1. Щелочность среды объясняется наличием гидроксида кальция, а также протеканием в системе процесса гидролиза сульфидов кальция и сульфидов других элементов.

В фильтрах сера представлена в виде сульфид, сульфат, сульфит и тиосульфат ионов (таблица 3). Образование сульфид, полисульфид, тиосульфат-ионов в фильтрационном материале (смесь перлита, гидроксида и карбоната кальция) основано на протекании следующих реакций при пропускании паров серы:

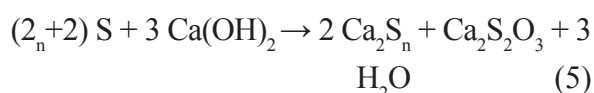


Выявлено выделение сероводорода при кипячении фильтрационного отхода, что объяснимо протеканием гидролиза полисульфидов:



С увеличением температуры растворимость серы в щелочи возрастает. Этим объясняется уменьшение доли полисульфидов, т.е. снижение их устойчивости.

Многие работы посвящены изучению кинетики данного процесса [16]. Ниже приведена реакция взаимодействия при 100<sup>0</sup>C S с Ca(OH)<sub>2</sub>:



Нами на основе результатов экспериментальных исследований установлено, что взаимодействие Тенгизской серы с растворами Ca(OH)<sub>2</sub> зависит от их массовых соотношений в реакционной среде (таблица 4).

**Таблица 4 – Содержание полисульфид, моносульфид и тиосульфатных форм серы при различных соотношениях твердой и жидкой фаз, %**

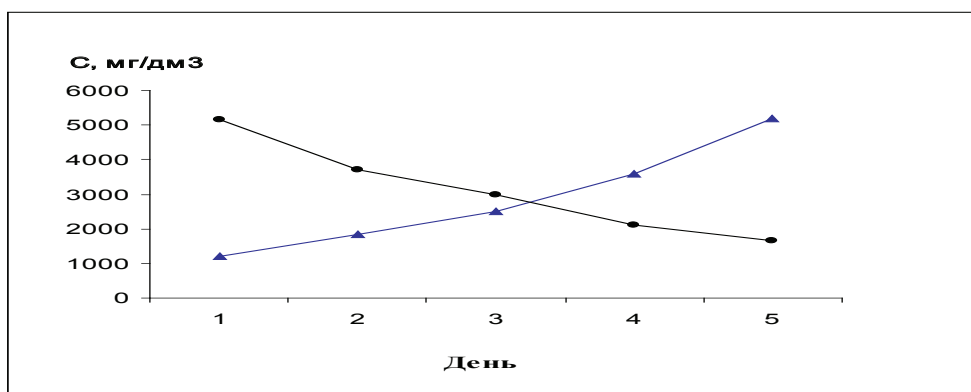
Твердая фаза: жидкая фаза	2M Ca(OH) <sub>2</sub>		
	Содержание в %		
	CaS <sub>n</sub>	CaS	CaS <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1 : 10	70,2	25,0	4,8
1 : 5	74,5	21,5	4,0
1 : 2	76,4	21,0	2,6

Как видно из данных, приведенных в таблице 4, с увеличением содержания серы в реакционной среде увеличивается содержание образуемого полисульфида и уменьшается содержание моносulfидной и тиосульфатной форм серы.

Таким образом при растворении серы оптимальным является следующее соотношение  $S : Ca(OH)_2 = 1 : 5$ , при этом на долю тиосульфата кальция приходится 4,0%. Вы-

ход полисульфида – 74,5%, а моносulfида – 21,5%.

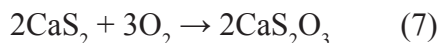
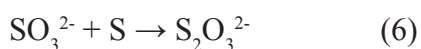
При стоянии в открытом воздухе цвет фильтратов (экстрактов) изменяется от красно-оранжевого до бесцветного. Содержание тиосульфат ионов в фильтратах определено сразу после отделения от твердой фазы и после истечения 20 часов, т.е. в обесцвеченном растворе. Данные экспериментальных исследований представлены на рисунке 1.



1 – тиосульфат-ионы; 2 – полисульфид-ионы

Рис. 1 – Изменение концентраций тиосульфат- и полисульфид-ионов в фильтратах по истечению времени

Наблюдаемое увеличение содержания тиосульфат-ионов при стоянии (обесцвечение экстрактов) можно объяснить протеканием ряда химических процессов, например, взаимодействием полисульфидов и сульфитов с кислородом воздуха с образованием тиосульфатов на основе следующих реакций [17-19]:



Установленный факт согласуется с известными литературными данными [20-21].

Наличие в значительных количествах тиосульфат-, сульфит- и сульфид-ионов свидетельствует о возможности использования полученных фильтратов для борьбы с различными грибными, вирусными и другими болезнями сельскохозяйственных и садовых культур, а также для лечебных целей в ветеринарии [22].

Нами в условиях животноводческих хозяйств проведены испытания композиционного состава, приготовленного на основе водной вытяжки из фильтрационного отхода сернокислотного производства.

Для опытов отобраны 15 бычков алаутской породы 7-8 месячного возраста, подверженные стригущему лишая (трихофитии). Они разделены на 5 групп по 3 бычка и 6 группа контрольная, состоящая также из 3 голов. Всего для проведения эксперимента взяты 18 бычков.

Для получения композиционного состава к серосодержащему фильтрату добавлен гидросульфат аммония до снижения реакции среды в растворе до  $pH = 4,5$ . Опыты проведены с разбавленными дистиллированной водой растворами композиционного состава (КС). Эти растворы использованы далее для втирания при помощи ватно-марлевого тампона на пораженные участки кожного покрова, которые предварительно очищены (от корочек) скребком. Орошение пораженных стригущим

лишаем мест на кожном покрове проведены 2 раза в сутки в течение четырех недель.

До и после нанесения испытуемого композиционного состава были взяты соскобы при помощи предметного стекла и помещены в стерильные чашки Петри для окрашивания и проведения световой микроскопии.

Как показали результаты производственных испытаний наиболее оптимальным является использование неразбавленного раствора

композиционного состава или разбавленного водой при соотношении КС: Н<sub>2</sub>О = 1:0,1. Выздоровление телят от трихофитии начинается после 2-кратного применения неразбавленного противогрибкового композиционного средства (КС). Через 16-28 дней исчезают проплешины, залысины, корочки, утолщения кожи, зуд.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 5.

**Таблица 5 – Эффективность обработки испытуемым композиционным составом (КС) пораженных участков кожного покрова бычков**

№ групп	Массовое соотношение КС : Н <sub>2</sub> О	Доза расхода, мл/100см <sup>2</sup>	Выздоровело, дни*						
			4	8	12	16	20	24	28
1	0	100	+	+	+	+	+	+	+
2	1:1	100	–	–	–	–	–	–	–
3	1:0,5	100	–	–	–	+	+	+	+
4	1:0,25	100	–	–	+	+	+	+	+
5	1:0,1	100	+	+	+	+	+	+	+
Контроль	Вода	100	–	–	–	–	–	–	–

\* Примечание + выздоровили; – отсутствие выздоровления

На микропрепаратах, приготовленных из соскобов при световой микроскопии отмечается фрагментация мицелий патогенных грибов и отсутствие роста на простых питательных средах. Исследования по установлению эффективности применения предлагаемого композиционного состава и других составов на его основе продолжают на крупном и мелком рогатых скотах, а также на кроликах.

Наряду с фильтратом нами проведены исследования с твердой фазой, оставшегося после отделения жидкой фазы. Свойства и применение фильтрационного отхода (ФО) практически не исследованы, но отдельные компоненты достаточно изучены. Например, основной компонент, входящий в состав ФО перлит широко используется в сельскохозяйственной практике для улучшения физико-химических свойств почв [23]. Известны работы, посвященные применению перлита не только как мелиоранта, но и в качестве субстрата для выращивания различных сельскохозяйственных культур [24].

Перлит широко используется в различных отраслях народного хозяйства, включая и сельскохозяйственную. Он является идеальным материалом для укоренения черенков растений. Это связано с созданием условий проветриваемости благодаря пористой структуре, соответственно, с предотвращением процесса загнивания. В смеси с грунтом перлит применяется как эффективное средство для выращивания садовых, огородных (овощей) и тепличных культур, цветов, в смеси с удобрениями для гидропоники [25-26].

Применение других компонентов фильтрационного отхода – гипса, извести, серы и его соединений в качестве мелиоранта является известным [27-28]. Известь широко применяется в агрохимии для снижения кислотности почвы и как кальциевые удобрения. Эффективность смеси гипса и серы в качестве мелиоранта солонцовых почв отмечены в работе [29-30]. Авторами установлено не только улучшение физических и физико-химических

свойств солонцов, но и повышение подвижности и усваиваемости растениями азота, фосфора и калия.

Гипс используется не только для химической мелиорации, но и как удобрение, содержащее кальций и серу. Сера – необходимый элемент питания растений, входит как обязательный компонент в белковую молекулу, т.е. в состав аминокислот: метионина, цистина, цистеина. Эти аминокислоты принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах клеток растений. Сера входит также в состав других аминокислот (глутатион, тиамин и др.), являющихся активаторами ферментов, играет важную роль в углеводном и азотном обмене в растениях. Обычно в почвах количество доступных для питания растений минеральных соединений серы невелико, поэтому серосодержащие соединения в ФО могут пополнить эти недостающие части и тем самым удовлетворить потребность растений в сере.

С учетом физико-химических и других свойств всех компонентов, входящих в состав фильтрационного отхода, авторами прове-

ден в лабораторных и полевых условиях на базе ботанического сада Международного казахско-турецкого университета им. Х.А. Ясави ряд экспериментальных исследований по выявлению возможности применения отходов сернокислотного производства для выращивания различных культур и домашних цветов.

Как показали результаты экспериментальных опытов наилучший рост комнатного цветка – хлорофитума наблюдается при использовании в качестве субстрата промытого дистиллированной водой фильтрационного отхода. На основе визуального анализа четко видно отрицательное влияние щелочности используемого субстрата, т.е. применение непромытого фильтрационного отхода угнетает рост и развитие данного растения.

Также проведены полевые исследования по установлению возможности применения фильтрационного отхода до и после его утилизации для улучшения физических, физико-химических и других свойств сероземной почвы, которым свойственны слитость и плохая аэрация, низкая влагоемкость, слабая накопляемость гумуса (не более 1,5%).

**Таблица 6 – Зависимость урожайности некоторых сельскохозяйственных культур (ц/га) от вносимых количеств фильтрационного отхода (до и после обработки водой) и биогумуса в почву (20 т /га)**

Культура	Исходная почва (контроль)	Урожайность при массовых соотношениях			
		Почва: ФО (без обработки) 1 : 1	Почва: ФО (после обработки водой) (1 : 1)	Почва: биогумус (1 : 0,1)	Почва: ФО (обработанный): биогумус (1 : 1 : 0,1)
Кукуруза	15,3	18,7	22,0	25,4	28,9
Картофель	178,4	192,2	233,7	240,3	255,1
Свекла	209,0	255,4	274,6	298,9	352,3
Морковь	251,2	272,1	286,5	344,4	395,2
Клевер	39,5	45,5	49,6	57,8	61,7

Как видно из результатов полевых опытов внесение в почвенную систему фильтрационного отхода и его смеси с биогумусом повышает урожайность всех исследованных сельскохозяйственных культур. Использование сероперлитсодержащего фильтрационного отхода сернокислотного производства в качестве мелиоранта позволяет значитель-

но улучшить как качественные, так и количественные характеристики почвенной системы. Повышается пористость и рыхлость, следовательно, воздухопроницаемость для подземной части растений предотвращает слеживание, уплотнение, затверждение почвы, образование поверхностной корки.

### Выводы

1. На базах сернокислотного производства ТОО «СКЗ-У» и НИИ «Экология» при Международном казахско-турецком университете имени Ходжи Ахмеда Ясави разработан ряд природоохранных мероприятий, позволяющих снизить или ликвидировать отрицательные антропогенные воздействия на окружающую среду, а также сохранить, улучшить и рационально использовать природные ресурсы при осуществлении производственной деятельности.

2. Показана возможность реализации перспективных направлений утилизации отходов серы нефтяной промышленности и серосодержащих отходов химической промышленности с созданием инновационных производств ряда конкурентноспособных продуктов.

3. Установлена биологическая активность жидкого продукта утилизации фильтрационного отхода сернокислотного производства и на его основе подобран новый композиционный состав, обладающий лечебным свойством против трихофитии сельскохозяйственных животных.

4. Проведением лабораторных и полевых опытов выявлено улучшение агрохимических свойств сероземных почв и, соответственно, повышение урожайности сельскохозяйственных культур (кукурузы, картофеля, свеклы, моркови, клевера) при внесении в почвенную систему фильтрационного сероперлитсодержащего отхода, так и его смеси с биогумусом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хайров Г.Б. Современные экологические проблемы в нефтяной отрасли Республики Казахстан // Нефть и газ. – 2001. – № 3. – С. 93-98.
2. Сангалов Ю.А., Дмитриев Ю.К., Маталинов В.И. и др. Элементарная сера: от сырья к новым веществам и материалам // Вестник Башкирского университета. – 2004. – №2. – С.31-34.
3. Порфирьева Р.Т. Разработка научных основ малоотходных технологий переработки серы и ее соединений в сульфиды и полисульфиды. дис. докт. техн.наук, 2006. – 259 с.
4. Медведева Г.А. Технология полисульфидных веществ на основе серы, пирита, глицерофосфата кальция и материалов с использованием золошлаковых отходов ТЭЦ. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Казань, 2006.
5. Характеристика серы. Применение серы. Медицинская сера <http://fb.ru/article/157349/harakteristika-seryi-primenenie-seryi-meditsinskaya-sera>
6. Kutney G. Sulfur. History, Technology, Applications & Industry, 2007. – 260 p.
7. Массалимов И.А., Удовенко И.Ф., Киреева М.С. и др. Применение водных серосодержащих композиций в качестве средств защиты растений // Баш. хим.журнал. – 2006. – Т.13. – №4. – С. 97-100.
8. Малкин В.П., Мещеряков С.В. Оценка качественного и количественного состава «вещества», полученного при утилизации сернокислотных промтоходов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2003. – №6. – С. 5-11.
9. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления // Справочное издание / Под. ред. докт. техн. наук, проф. Б.Б. Бобовича. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2000. – 496 с.
10. Акбасова А.Д., Саинова Г.А., Колушпаева А.Т. Ростостимулирующие и бактерицидные препараты: Монография. – Германия: LAP Lambert Academic Publishing. – 2012. – 176 p.
11. Спиридонов Ф.М., Зломанов В.П. Тиосерная кислота и тиосульфаты // Химия халькогенов: Учебное пособие. – М.: МГУ, 2000. – 396 с.
12. Азиханова Д.К., Акбасова А.Д., Аймбетова И.О. Композиционные строительные материалы из техногенных отходов южного региона Казахстана // Znanstvena misel journal №12/2017. – С. 87-90.

13. Переработка отходов производства и потребления». Справочное издание / Под ред. докт. техн. наук, проф. Б. Б. Бобовича. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2000. – 496 с.
14. Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В. Иодометрия // Аналитическая химия. – М.: Химия, 1990. – 848 с.
15. Черный И.С. Сульфиты щелочных и щелочно-земельных металлов // Исследования в области неорганической технологии. Соли, окислы, кислоты. – Л., 1972. – С. 309-316.
16. Чертков Б.А. К теории окисления сульфит-бисульфитных растворов // ЖПХ, 1959. – Т.32. – № 12. – С. 2609-2613.
17. Карякин Ю.В. Чистые химические реактивы. – М.: Изд-во: Химическая литература, 1947. – 575 с.
18. Неделькин В.И., Зачернюк Б.А., Андрианова О.Б. Органические полимеры на основе элементной серы и ее простейших соединений // Российский химический журнал. – 2005. – Т. XLIX. – № 6. – С. 3-10.
19. Неделькин В.И., Зачернюк Б.А., Андрианова О.Б. Органические полимеры на основе элементной серы и ее простейших соединений // Российский химический журнал. – 2005. – Т. XLIX. – № 6. – С. 3-10.
20. Спиридонов Ф.М., Зломанов В.П. Тиосерная кислота и тиосульфаты // Химия халькогенов. Учебное пособие. – М.: МГУ, 2000. – 396 с.
21. Ерфан Елхамад. Эффективность гипса и серы в качестве мелиорантов солонцовых почв // Известия ТСХА. – 2008. – № 3. – С. 138.
22. Колушпаева А.Т., Акбасова А.Д. Серосодержащие отходы нефтяной и химической промышленности – ценные сырьевые продукты. - Bulletin d'EUROTALENT-FIDJIP, 2015, №3. – С. 53-55.
23. Akbasova A.D., Sainova G.A, Aimbetova I.O. and Baiseitova B.A. Influence of Mixture Vermicompost and Sulfur Per Liter Containing Waste On the Growth and Development of Potato. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. September– October 2016. –Vol.7. – Iss. 5. –P. 2064-2069.
24. Ayşe Gül., Deniz Eroğul., Ali RızaOngun. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce // Scientia Horticulturae Volume 106, Issue 4, 1 November 2005, Pages 464-471.
25. Mühlenweg D. Perlite in horticulture // Telma // Issue 34, November 2004, Pages 173-184.
26. A. Samadi. Effect of Particle Size Distribution of Perlite and its Mixture with Organic Substrates on Cucumber in Hydroponics System // J. Agr. Sci. Tech. // (2011) Vol. 13: 121-129.
27. Sumner, M.E. Gypsum improves subsoil root growth. In Proceedings of the International symposium “Root Reseach and Aplications, BOKU, Viena, Austria, 2–4 September 2009.
28. Anikwe, M.A.N.; Eze, J.C.; Ibudialo, A.N. Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. Soil Tillage Res. 2016, 158, 32–38.
29. Moura, E.G.; Sena, V.G.L.; Sousa, C.C.M.; Silva, F.R.; Coelho, M.J.A.; Macedo, V.R.A.; Aguiar, A.C.F. Enhancement of the rootability of a structurally fragile tropical soil using gypsum and leguminous residues to increase the maize yield. Soil Use Manag. 2016, 32, 118–126.
30. Amezketa, E., R. Aragues and R. Gazol, 2005. Efficiency of Sulfuric acid, mined gypsum and two gypsum by-products in Soil crusting prevention and sodic soil reclamation. Agronomy Journal, 97: 983-989.

УДК 628.31  
МРНТИ 31.17.15

## ӨНДІРІСТІК АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАЛАУ ҮШІН СОРБЕНТТЕР ДАЙЫНДАУ

Р. МОНГОЛХАН

*Павлодар мемлекеттік педагогикалық университеті*

**Аңдатпа:** Мақалада өндірістік ағын суларды тазартудың жолдары қарастырылған. Сондай-ақ, зерттеу барысында ағынды суларды тазартуға арналған сорбенттер дайындалды. Зерттеу нәтижесінде бентонитті түрлендірудің және  $Cd^{2+}$  иондарының сорбция процесін жүргізудің тиімді жағдайлары анықталды. Түрлендіру – бастапқы материалдың сорбциялық сипаттамаларын арттырады. Металдар сорбциясының кинетикалық қасиеттері және адсорбциялық изотермалары есептелген. Сонымен қатар, сорбциялық қасиетке модификатордың концентрациясының әсері зерттеліп, сорбенттің оңтайлы құрамы анықталды.

**Түйінді сөздер:** ағын сулар, сорбенттер, бентонит, ауыр металл иондары, полиэтиленимин

## PRODUCTION OF SORBENTS FOR INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT

**Abstract:** Methods of industrial wastewater treatment have been described in this article. Also during the study sorbents for wastewater treatment were prepared. As a result of the study, optimal conditions for the modification of bentonite and  $Cd^{2+}$  ions were determined. Modification - increases the sorption characteristics of the source material. The kinetic characteristics of sorption isotherms and metal adsorption isotherms are calculated. In addition, the effect of the modifier concentration on the sorption properties was studied and the optimal composition of the sorbent was determined.

**Keywords:** wastewater, sorbents, bentonite, heavy metal ions, polyethyleneimine

## ПРОИЗВОДСТВО СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

**Аннотация:** В статье изложены способы очистки промышленных сточных вод. Также во время исследования были подготовлены сорбенты для очистки сточных вод. В результате исследования определены оптимальные условия для проведения модификации бентонита и ионов  $Cd^{2+}$ . Модификация повышает сорбционные характеристики исходного материала. Рассчитаны кинетические характеристики изотерм сорбции и изотермы адсорбции металлов. Кроме того, было исследовано влияние концентрации модификатора на сорбционные свойства и определен оптимальный состав сорбента.

**Ключевые слова:** сточные воды, сорбенты, бентонит, ионы тяжелых металлов, полиэтиленимин

### Кіріспе

Ағынды сулар – бұл әртүрлі өнеркәсіптік қалдықтармен ластанған сулар. Ағынды суларды өзендерден және өнеркәсіптік кәсіпорындардан жою үшін әрқилы канализация жүйелерін және инновациялық технологиялық жүйелерді қолдану керек. Сондай-ақ, сан түрлі атмосфералық жауын-шашынға байланысты ағынды сулар қалыптасады. Уақыт өте келе қоршаған ортаның экологиясына зиян келтіріп, зиянды вирустар мен микроорганизмдердің таралуына ықпал ететін су объектілеріне улы заттардың түсуіне байланысты су қоймаларының санитарлық жағдайының нашарлауының қауіпті жүйесі бар [1].

Сондықтан қоршаған ортаны қорғау үшін ағынды суларды тазарту, адам денсаулығына зиян келтіретін және елді мекендердің экологиясын болдырмау үшін суды бұру қажет. Осы аспектілерге байланысты бұл мәселелер өте маңызды екені сөзсіз.

Қазіргі уақытта ағын суларды тазартудың сан алуан жолдары зерттелуде. Өнеркәсіпте органикалық және минерал болып табылатын әртүрлі сорбенттер қолданылады. Түрлі органикалық материалдарды өңдеу кезінде алынған көміртегіге байланысты материалдар: көмір, шымтезек және т.б. Ал минерал сорбенттерге мыналар жатады: цеолит, алюмогельдер, силикагель. Олардың құрылымы кеуекті болуына байланысты, бұл оның көлемінің бірлігіне тәуелді адсорбенттің нақты аймағын едәуір арттырады, соның арқасында процестің тиімділігі жоғарылайды. Сонымен қатар, сапропель, шымтезек және т.б. сияқты көптеген табиғи материалдар да сорбциялық қасиетке ие. Табиғи сорбенттердің құны жасандыларға қарағанда он есе төмен, сол үшін олар жиі жаңартылмайды. Сазбалшықтан жасалған материалдар (диатомит, кремнийлі-тау жынысы, ұсақ кеуекті шөгінді тау жынысы) суды тазарту үшін ең көп тараған бейорганикалық сорбенттер екені мәлім [2-3].

Әдебиетке талдау жасау арқылы, ауыр металл иондарына қатысты перспективалы сорбенттер – бентонит саздары болатынын анықтадық [4-6].

Бентонит құрамы жұқа дисперсті, жоғары пластикалы тау жыныстарынан тұрып, адсорбциялық, тиксотропты және байланыстырғыш қасиеттер көрсетеді. Бентониттер – ұстағанда майлы, әртүрлі түсті (ақтан қараға дейін) сынықтары бар тау жыныстары. Сумен әрекеттесіп гель түзеді, кепкенде гүлді қырыққабатқа ұқсас қыртысты қабықша түзеді.

Бентониттің негізіне тау-жыныс түзуші минералға монтмориллонит жатады. Термин монтмориллонит 1847 жылы енгізілді, сол кезде Монтмориллон (Франция) қаласының маңында құрамы  $4,2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7,4\text{H}_2\text{O}$  болатын сазды минерал табылды [7].

Монтмориллонитты бентонит сазының құрылымдық өзіне тән ерекшелігі су молекулалары және басқа полярлы сұйықтықтар, мысалы органикалық молекулалар қабатаралық кеңістіктерге кіріп, тордың ісінуіне себеп бола алады. Ісіну қабілеті – қайтымды қасиет, дегенмен қабатаралық полярлы молекулалар жойылғанда монтмориллонит құрылысы толығымен сығылады. Бірақ, бұл жағдайда құрылымға қайта ісіну қабілетін енгізу өте қиын немесе мүмкін емес [8-9].

Монтмориллонитты минералдар өте ұсақ бөлшектер түрінде кездеседі, сондықтан олардың рентгендифракциондық суреттерін жасай алмаймыз. Кейбір жағдайларда – қабыршақтары созылған және түрі қырлы немесе ине тәрізді формада болады. Мүмкін, мұндай созылған формалар кристалл тор шегіндегі иондарының орын басуынан түзіледі, ал оның шамалары октаэдр позицияларына еңбекпен бейімделеді, сондықтан кристалдық торда сызықтық кернеу пішін алады. Монтмориллонит көптеген өзге түрлері, құрамында алюминийдің айтарлықтай бөлігі темірмен немесе магниймен ауыстырылған жағдайда, бөлшектер ұзартылған формада келеді [9].

Қазіргі кезде монтмориллонитты минералдар құрылымы қабылданған түрі Гофман, Эндел және Вильм ұсынған, кейін Маршал, Магдефрау, Гофман және Хендрикс түрлендірген алғашқы түпкі қағидаларға негізделген. Осы концепция бойынша монтмориллонит құрылысы ортасында алюминий-оттектік бетпен бөлін-

ген екі бет кремний-оттекті тетраэдрлер қиылысады. Осының бәрі бір қабат түзеді. Қабаттар арасында орналасқан қабатаралық суда ионды алмасуға қабілетті катиондар ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) болады. Тетраэдрлердің барлық қырлары бір жаққа қабаттың центріне бұрылған. Тетраэдрлік және октаэдрлік беттер байланысы көп болуы сонша, олар әр кремний-оттектік беттері мен тетраэдрлік қырларын және октаэдрлік беттің бір гидроксилді қабатын ортақ қабат етіп түзеді. Тетраэдрлік және октаэдрлік қабаттарға ортақ атом ретінде гидроксидтер орнында оттектік атомы болады [9-14].

Эдельман және Фавайе (1940ж.) монтмориллонит құрылысының өзге құрылымын ұсынған, ол минералдардың қасиеттерін нақтырақ түсіндіруге мүмкіндік береді. Ұсынылған құрылымның жоғарыда түсіндірілген құрылымнан айырмашылығы: әр кремний-оттектік тетраэдр кремний-оттектік қабаттарын төңкерген жағдайда үстіңгі қыры астына келеді және де жартысының қырлары қарама-қарсы бағытқа айналдырылады. Бірақ рентген сәулелерін дифракциялау мәліметтеріне жүгінсек, тордағы алмасуларды көрсететін химиялық мәліметтер, дегидратацияны мұқият зерттеу нәтижелері Эдельман және Фавайе ұсынған монтмориллонит құрылымына қарама-қайшы болып келеді. Оны аналитикалық жолдармен анықтау аса қиын, бірақ ол монтмориллонит саздарының кейбір қасиеттерін түсіндіре алады [11].

Изоморфты орынбасулар есептелінбей Пиррофилит формуласы негізінде жасалынған монтмориллонит құрылысының теоретикалық формуласы мынадай түрде берілген:



мұндағы,  $x \text{H}_2\text{O}$  – қабатаралық су.

Теориялық құрамы қабатаралық материалдарды санамағанда: кремний оксиді – 66,7%, алюминий оксиді - %, су - 5 %.

Табиғи алюмосиликаттарды олардың кристалдық торларына байланысты 2 топқа бөлуге болады: кристалдық және аморфтық. Аморфты алюмосиликаттар ион алмасу процесі кезінде ісіну қабілетімен сипатталады.

Осы жай оларды органикалық иониттерге ұқсас екендігін көрсетеді [12-14]

### Тәжірибелік бөлім

Аталған жұмыста, ағын суларды ауыр металл иондарынан тазартуға арналған сорбенттер бентонит сазбалшықтарын молекулалық массасы 10000 г/моль болатын полиэтиленминмен (ПЭИ) және тиомочевинамен модификациялау арқылы алынды.

Салмағы 50 г бентонит саз балшықтарына 5 г каустикалық сода қосылған, 500 см<sup>3</sup> дистилденген су құйып, 30 минут бойы жақсылап араластырылған және қайнатылған. Салқындағаннан кейін қоспа рН≈6,0 қышқылдық ортаға тұз қышқылымен бейтараптандырылды. Содан кейін ерітінді тұнбадан бөлініп,  $t = 100-110^\circ\text{C}$  кезінде 3-4 сағ ішінде кептірілген.

### Нәтижелер және оларды талқылау

Ауыр металл иондарына қатысты перспективалы сорбенттер – бентонит саздары екендігін әдебиеттерден анықтадық. Сорбенттердің физика-химиялық және текстуралық қасиеттерін зерттеу өте маңызды, себебі ол бентонит сазының сорбциялық белсенділігіне модификатордың әсері туралы егжей-тегжейлі ақпарат алуға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында қолданылған бентониттің сипаттамасы 1-кестеде келтірілген. Кестедегі мәліметтерге сәйкес, бентонит монтмориллониттің шамамен 90-95% құрайтын мономинералды шикізаты екені көрініп тұр.

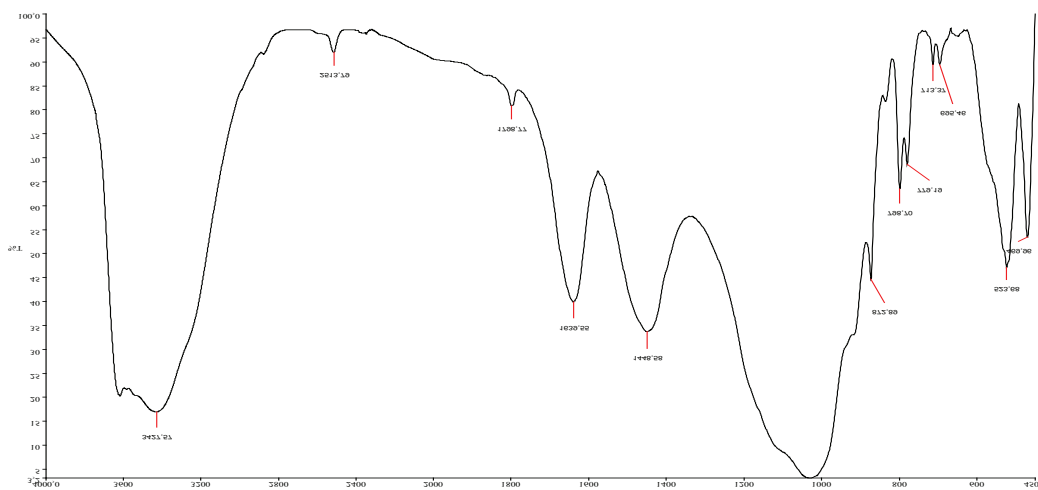
### 1 кесте – Бентониттің сипаттамасы

Сипаттамасы	Мәні
Фракция (мм)	0,07
Монтмориллонит (%)	90-95
Ылғалдың массалық үлесі (%)	12
Құм (%)	1-2
Ісіну индексі (2г есептегенде)	24

Бентонит бетінде полиэтиленмин бөлшектерінің болуын ИҚ-спектроскопия көмегімен анықтадық, нәтижесі төменде келтірілген.

Бастапқы бентониттің спектрін интерпретациялау кезінде оларда көрсетілген негізгі жолақтар кремнийдің оттегімен және сутегінің оттегімен валенттік байланыстарын көрсетеді. 1027 см<sup>-1</sup> жолақ сызығы кремний-оттегі торы Si-O-Si тетраэдрінің сәйкесінше 469 және 523 см<sup>-1</sup> толқынды тербелісі және Me-O байланыстарының деформациялық тербелісі жолақтарына сәйкес келетінін анықтайтын айқын жолақ (1-сурет).

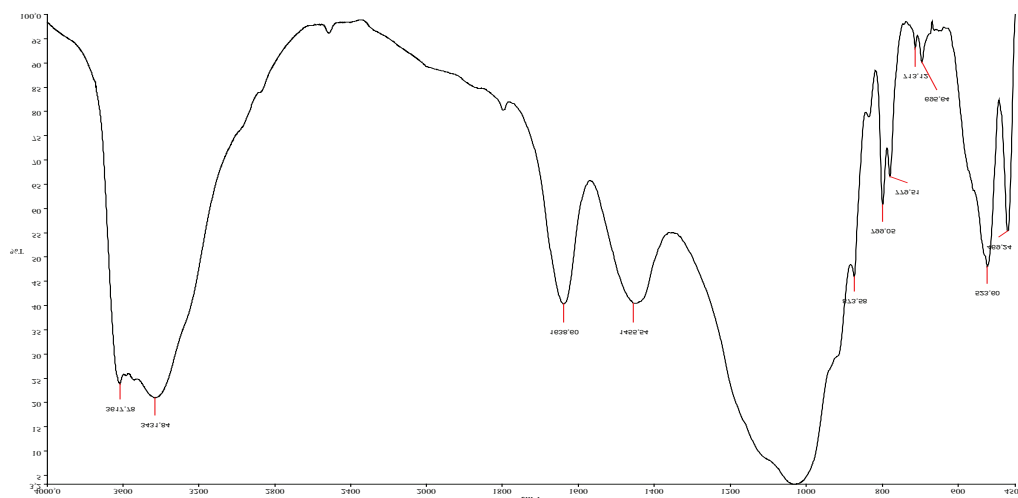
798,7 см<sup>-1</sup> аралығындағы жолақ сызық SiO<sub>4</sub> тетраэдрінің сақиналарының Si-O-Si тербелісіне сәйкес келеді. 695 және 1448 см<sup>-1</sup> аймағындағы сіңіру жолақтары кальцит қоспасымен байланысты. 2513-3427 және 1639 см<sup>-1</sup> аралығындағы қарқынды, созылған жолақ судың ОН-валентті және деформациялы бос және байланысқан тербелістеріне сәйкес келеді.



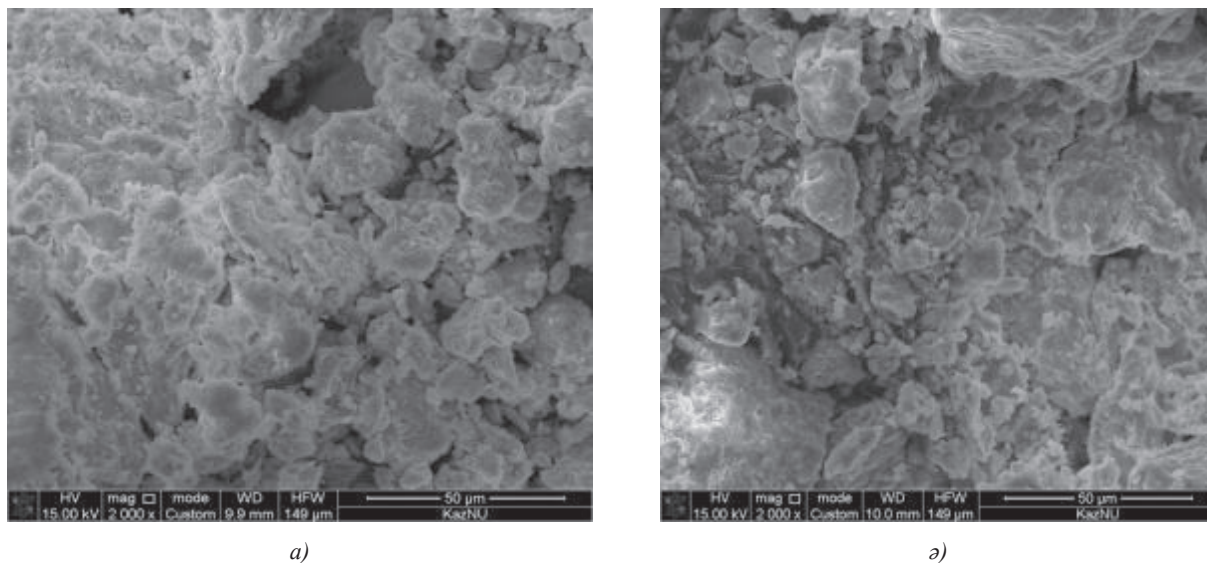
1-сурет. Бастапқы бентониттің ИҚ-спектрі

Полиэтиленминмен модификацияланған бентонит спектрінде 1600 см<sup>-1</sup> аймағындағы жолақтың қарқындылығының төмендеуі байқалады, бұл бос ОН-топтарының санының азайғанын білдіреді және полимерлі байланыстың түзілуіне сәйкес болуы мүмкін (2-сурет). 3617 см<sup>-1</sup> шыңы түрлендірілген сорбенттерде

бастапқы аминнің пайда болуын көрсетеді. Сондай-ақ, шыңдардың жиілігінің мәндерінің азайғанын байқауға болады, осы жай сорбент атомдары арасындағы байланыстың, атап айтқанда, Si-O, Si-O-Si, Si-O-Al байланыстарының арасындағы қашықтықтың артқанын көрсетеді.



2-сурет. Полиэтиленминмен модификацияланған бентониттің ИҚ-спектрі



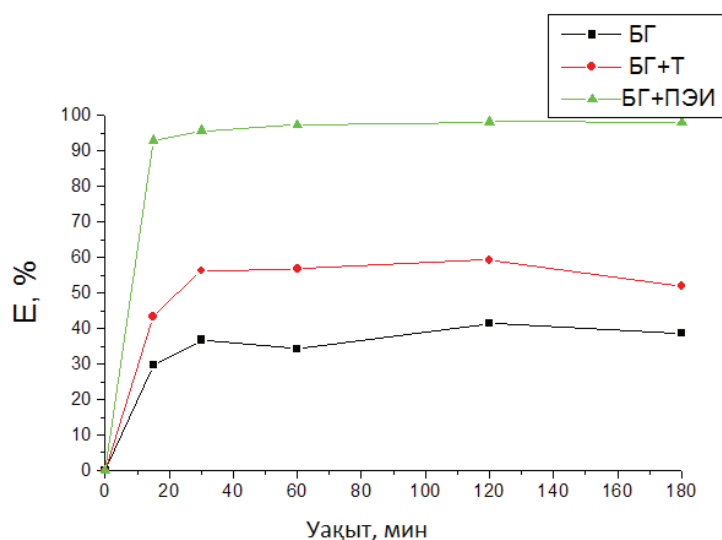
3-сурет. Бастапқы бентонит сазы (а) және полиэтиленимин модификацияланған (б) бентониттің микрофотграфиясы

Сорбенттердің морфологиясы мен құрамы 3-суретте келтірілген СЭМ әдісімен анықталған.

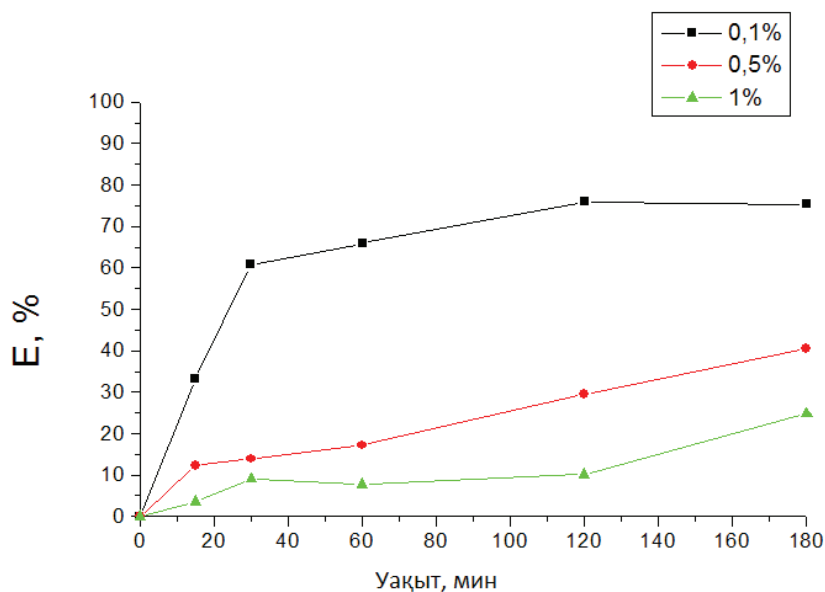
Суреттерден көріп отырғанымыздай, бастапқы бентонитті полиэтиленимин модификацияланған бентонитпен салыстырғанда құрылымы тығыз. Полимер бөлшектері бентониттің қабатаралық кеңістігіне еніп, тиомочевина иондармен толтыру үшін бос кеңістіктің болуын қамтамасыз етеді де, кеуек мөлшерін ұлғайтады.

Ізденіс барысында аталған бентонит полиэтилениминмен модификацияланды. Сон-

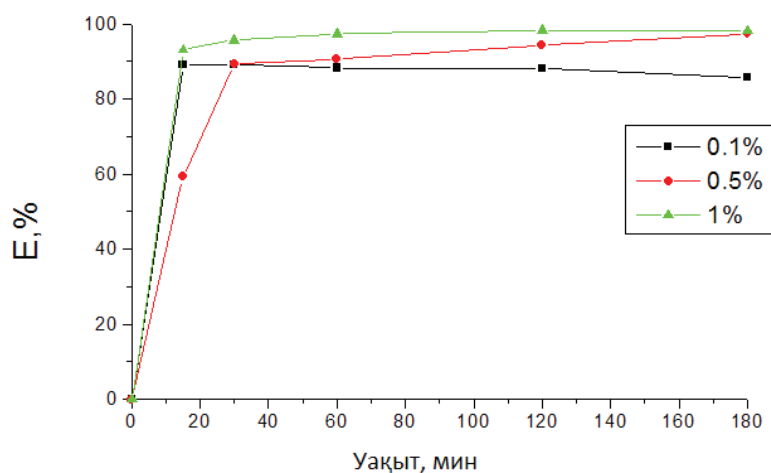
дай-ақ, алынған сорбенттердің кадмий ионына қатысты сорбциялық қасиеті айқындалды. 4-суретте бастапқы бентонит (БТ), бентонит пен полиэтиленимин (БТ+ПЭИ) және бентонит-тиомочевина (БТ+ТМ)  $Cd^{2+}$  иондарына қатысты сорбциялық қасиеттері қарастырылған. Бастапқы бентонитпен металл иондарын бөлу дәрежесі шамамен 40% құрады, ал сорбент құрамына модификатор енгізу металл иондарын бөліп алу дәрежесін арттырады. БТ+ТМ сорбентімен металл ионын бөліп алу дәрежесі 60%, ал БТ+ПЭИ шамамен 100% жетеді.



4-сурет. БТ, БТ+ТМ және БТ+ПЭИ сорбенттерімен  $Cd^{2+}$  ионын бөліп алу дәрежесінің уақытқа тәуелділігі ( $T=298K$ ,  $pH=6$ ,  $C_{баст}=100мкг/мл$ ,  $C_{ПЭИ}=0,1\%$ ,  $C_{ТМ}=0,1\%$ )



5-сурет. Әртүрлі концентрациядағы тиомочевинамен модификацияланған сорбенттермен  $Cd^{2+}$  ионын бөлу дәрежесінің уақытқа тәуелділігі ( $T=298K$ ,  $pH = 6$ ,  $C_{баст} = 100$  мкг/мл)



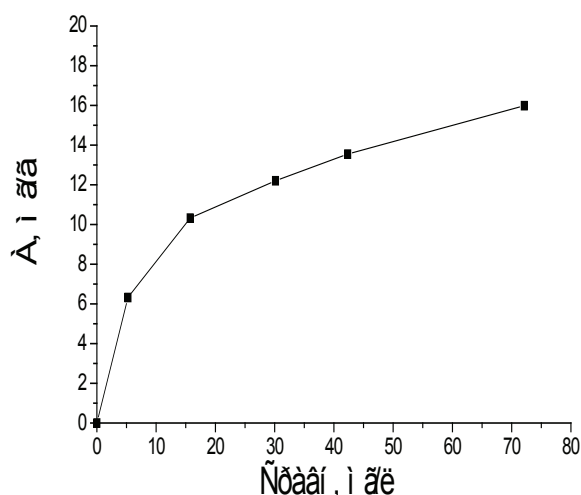
6-сурет. Әртүрлі концентрациядағы полиэтиленминмен модификацияланған сорбенттермен  $Cd^{2+}$  ионын бөлу дәрежесінің уақытқа тәуелділігі ( $T=298K$ ,  $pH = 6$ ,  $C_{баст} = 100$  мкг/мл).

Сонымен қоса, сорбенттегі полиэтиленмин мен тиомочевина концентрациясының әсері анықталды, оның нәтижелері 5-6-суретте көрсетілген.

Суреттен көріп отырғанымыздай, тиомочевинаның ең төменгі концентрациясы бөліп алудың өте жоғары дәрежесін көрсетеді. Демек, осы жағдайда сорбенттің белсенді орталықтарының қамалдануына байланысты адсорбцияның нашарлауымен тәуелді болуы мүмкін. Полиэтиленминнің шоғырлануы

ауыр металл ионын бөліп алуға еш әсерін тигізбегендіктен, ең төменгі концентрациясын алу экономикалық тиімді болып есептеледі.

Жұмыста металл иондарының бастапқы концентрациясының 100-500 мкг/мл аралығындағы концентрацияның 298K температурасында сорбциялық процеске әсері зерттелді. Нәтижесінде мынадай изотермалар алынды (7-сурет), сонымен қоса кадмий үшін 16 мг/г құрайтын максималды адсорбциялық мән есептелді.



7-сурет. 0,1% ПЭИ тұратын бентонит негізінде түрлендірілген сорбентте  $Cd^{2+}$  ионы адсорбциясының изотермасы

Адсорбциялық изотермаларға сәйкес, концентрацияға байланысты тепе-теңдік кезінде адсорбент пен сұйық фазаның арасында металл иондарының қалай бөлінетінін білуге болады. Қатты-сұйықтық интерференциясында адсорбция процесстерін сипаттау үшін ең жиі қолданылатын модельдер Ленгмюр және Фрейндлих изотермалық үлгілері екені анық.

Егер адсорбция сорбент белсенді орталықтарының бір-бірімен өзара әрекеттесуінсіз біртекті жүйеде сорбаттың мономерлерлі қабатын қалыптастыратын болса, онда бұл процесс Ленгмюр үлгісі деп аталады. Фрейндлих изотермасы, өз кезегінде, эмпирикалық сипатта пайдаланады және гетерогенді жүйелерді айқындау үшін қолданылады [15].

Эксперименттік мәліметтерге сәйкес, 4-суретте, металл иондарының бастапқы концентрацияларында есептелген кадмий иондарының адсорбциялық изотермалары ұсынылған.

### Қорытынды

Ағын сулардағы металдарды сорбциялық сіңіру әдісі жоғары тиімді болуы және

екіншідей ластанудың жоқтығының салдарынан айтарлықтай кең өріс алды. Сорбциялық материалдар судағы ерітінділерден кез келген концентрациядағы металдарды сорбциялайды. Сорбент тиімділігі оның бетінің ауданы және судағы лас заттарға қатысты активті қатысушылар болуына байланысты. Адсорбция процесінің белсенділігі тек қана сорбент мөлшері, қасиетіне ғана байланысты емес, сондай-ақ адсорбцияланатын заттардың табиғатына, концентрациясына тәуелді болады. Заттың концентрациясы жоғары болған сайын, соншама оның мөлшері әр грамм сорбентте адсорбцияланады.

Осылайша, зерттеу барысында тиомочевина және полиэтиленминмен модификацияланған бентонит сорбенттері дайындалды. Сондай-ақ, алынған сорбенттердің кадмий ионына қатысты сорбциялық қасиеті зерттелді. Екі жағдайда да модификатордың концентрациясы 0,1% болған кезде, кадмий ионын бөліп алу дәрежесі жоғары мәнге жетті.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР

1. Уваров П.Ю. Какие бывают сточные воды – это загрязненные воды, требующие очистки // Экология. – 2013. – С. 236-312.
2. Orhan Y. and Buyukgungor H. The removal of heavy metals by using agricultural wastes, Water Sci. Technol. – 1993. - 28, P. 247-255.
3. Yarusova S., Gordienko P.S. Kinetics of the sorption of heavy-metal ions by a sorbent obtained from boric acid production waste // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2016. - 50(5). – P.841-845
4. Морозов Д.Ю., Шулаев М.В., Храмова И.А., Хабибуллина Л.И. Исследование адсорбции очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов // Химическая промышленность. – 2007. – Т. 84. – № 3. – С. 141-144.
5. Bin Y, Zhang Y, Alka S, Shyam S.S, Kenneth L.D. The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of copper // Journal of Hazardous Materials. – 2000. - №80. – P. 33-42.
6. Azouaou N, Sadaoui Z, Djaafri A, Mokaddem H. Adsorption of cadmium from aqueous solution onto untreated coffee grounds: Equilibrium kinetics and thermodynamics' // Journal of Hazardous Materials, 2010. – Vol. 184, P.126- 134.
7. Батгалова Ш.Б. Физико-химические основы получения и применения катализаторов и адсорбентов из бентонитов. – Алма-Ата, 1986. – 168 с.
8. Christie C.C. Metals from electroplating sludge // Trans. Inst. Met. Finish. – 1991. – № 2. – P. 2–6.
9. Глушко Е.В., Радовенчик В.М., Радовенчик Я.В. Малоотходная ионообменная технология очистки гальваностокков от ионов цинка // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2006. – № 5. – С. 60-63.
10. Добрецов В.Б. Разработка и комплексное использование материалов залежей железомарганцевых конкреций Финского залива // Горный журнал. – 2002. – № 8 – С. 63-65.
11. Ksenofontov B.S. Water use and industrial waste treatment // Life safety. - 2003. - Appendix No. 9. - P. 1–16.
12. Lobacheva G.K. An integrated approach to solving organizational and technical problems of preventing environmental pollution // Ecological systems and devices. - 1999. - № 5. - P. 50–54.
13. Несвижская Н.И., Саэт Ю.Е. Геохимические основы определения предельно допустимых концентраций химических элементов в почвах // Труды V Всесоюзного совещания «Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах». – Л.: Гидропромиздат, 1985. – С. 10-18.
14. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1988. – 247 с.
15. Raafia Najama, Syed Muzaffar Ali Andrabil // Removal of Cu(II), Zn(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions by adsorption on walnut shell-Equilibrium and thermodynamic studies: treatment of effluents from electroplating industry // 2016, pp. 1-11.

УДК 624.04  
МРНТИ 67.03.03

## ПОРОГ СЕЙСМОПРОСАДОЧНОСТИ КАК КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Х.З. РАСУЛОВ<sup>1</sup>, Д.Ж. АРТЫКБАЕВ<sup>2</sup>, К.С. БАЙБОЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский архитектурно-строительный институт

<sup>2</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова

**Аннотация:** Лессовые грунты широко используются на территории Казахстана и их инженерно-геологическому состоянию посвящены многочисленные исследования. Как следствие этого явления – развитие деформаций зданий и сооружений вследствие неравномерной осадки лессовой толщи. В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований, проведенных авторами для выяснения природы порога сейсмопросадочности структуры увлажненных лессов при их сотрясении. На основании рассуждения физических процессов в лессовой толще в условиях колебания отмечается прямая зависимость порога сейсмопросадочности от сопротивляемости сдвига грунта. На основе выполненных исследований предложена формула для расчета сопротивления сдвига (прочность) лессового грунта. Здесь определяется сейсмопросадочная деформация грунтовой толщи. Прочность, устойчивость и долговечность зданий и сооружений, возводимых на таких грунтах, во многом зависит от полного исключения возможности замачивания основания в процессе эксплуатации.

**Ключевые слова:** лессовые грунты, колебания, сейсмические нагрузки, деформация, прочность, влажность, структура грунта, угол внутреннего трения

## THE SEISMIC THRESHOLD AS A CRITERION FOR THE STABILITY OF THE STRUCTURE OF LOESS SOILS

**Abstract:** Loess soils are widely used in Kazakhstan and their engineering and geological surveys are devoted to numerous studies. As a consequence of this phenomenon - the development of deformations of buildings and structures due to uneven precipitation of the loess strata. The report describes the results of experimental studies conducted by the authors on the elucidation of the nature of the seismic subsidence structure of the structure of moistened loess during their shaking. Based on the reasoning of the physical processes in the loess stratum under oscillation conditions, the seismic subsidence threshold is directly dependent on the resistance to soil shear. Based on the studies performed, a formula for calculating the shear resistance (strength) of loess soil is proposed. Here the seismic subsidence deformation of the soil strata is determined. Strength, stability and durability of buildings and structures erected on such soils, largely depends on the complete exclusion of the possibility of soaking the base during operation.

**Keywords:** loess soils, vibrations, seismic loads, deformation, strength, humidity, soil structure, angle of internal friction

## САРЫ ГРУНТТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ КРИТЕРИЙІ РЕТІНДЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ ШЕГІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

**Аңдатпа:** Сары грунттар Қазақстанда кеңінен қолданылады және олардың инженерлік-геологиялық есептеулері зерттеулерге арналған. Осының салдарынан – үйлер мен ғимараттардың деформацияларының біркелкі таралмауы шөуге алып келеді. Мақалада авторлар сейсмикалық сілкіністердің нәтижесінде ылғалданған грунттардың құрылымын эксперименттік жағдайда

анықтауға болады. Тербеліс жағдайында грунттар қабатындағы физикалық үдерістерді негіздеу сейсмикалық шөгудің төзімділігіне тікелей байланысты. Орындалған зерттеулерге сүйенсек, сары грунттардың кедергісін (беріктігін) есептеуге арналған формула ұсынылған. Мұнда грунт қабаттарының сейсмикалық шөгудің деформациясы көрсетілген. Осындай грунттарда салынған үйлер мен ғимараттардың беріктігі, тұрақтылығы мен ұзақ мерзімділігі негізінен сіңіру мүмкіндігін толықтай жоюға байланысты айқындалған.

**Түйінді сөздер:** сары грунт, тербеліс, сейсмикалық жүктеме, деформация, беріктік, ылғалдылық, грунттың құрылымы, ішкі үйкеліс бұрышы

Известно, что степень нарушения структуры водонасыщенных лессовых грунтов при колебании, а отсюда их сеймопросадочная деформация определяются воздействием лишь некоторой части приложенной к ним динамической (сейсмической) нагрузки [1]. Она оценивается по величине максимального сейсмического ускорения, свойственного возникающему при этом колебанию ( $\alpha_c$ ).

Обозначив активно действующую часть ускорений колебаний через  $\alpha_p$ , можем записать:

$$\alpha_p = \alpha_c - \alpha_{lim} \quad (1)$$

где  $\alpha_{lim}$  – порог сеймопросадочности как некоторое предельное ускорение, погашаемое внутри грунтовой толщи силами действующих в ней сопротивлений и в первую очередь, как показал анализ, силами сцепления ( $c_w$ ) и внутреннего трения ( $\varphi_w$ ).

При этом условии величина порога просадочности может рассматриваться как некоторое максимальное ускорение колебания, при котором структура лессового грунта не нарушается и при этом сеймопросадочная деформация грунта не происходит.

Следовательно, при всех значениях сейсмических ускорений меньше  $\alpha_1$ , сопротивление сдвигу (прочность) лессового грунта определяется по выражению [2]:

$$S = \sigma_d \cdot tg\varphi_w + c_w \quad (2)$$

где  $\sigma_d$  – динамическое нормальное напряжение от веса грунта, лежащего выше рассматриваемого горизонта и веса сооружений;

$\varphi_w$  – угол внутреннего трения при влажности  $w$ ;

$c_w$  – общее сцепление при влажности грунта;

Очевидно, чем выше величина порога сеймопросадочности  $\alpha_{lim}$ , тем меньшим по величине оказывается ускорение  $\alpha_p$ , определяющее сеймопросадочную деформацию грунтовой толщи.

Порог сеймопросадочности функционально связан с прочностными характеристиками грунтов в виде [1]:

$$\alpha_{lim} = \xi(\sigma_d tg\varphi_w + c_w) \quad (3)$$

где  $\xi$  – параметр, связанный со свойством и состоянием грунта, а также характером динамического режима.

В соответствии с выражением (3) величина порога сеймопросадочности  $\alpha_{lim}$  в сейсмических условиях может изменяться за счет частичного либо полного снижения параметров прочности грунта, таких как нормальное напряжение ( $\sigma$ ), угол трения ( $\varphi_w$ ) и сцепление ( $c_w$ ).

Порог сеймопросадочности  $\alpha_{lim}$  определялся с использованием обычных виброкомпрессионных приборов, в которые образцы грунтов закладывались общеизвестной методикой. Диапазон нагрузки на образцы был принят от 0 до  $30,0 \cdot 10^5$  Па, а ускорение колебательного движения от 500 до 4000 мм/с<sup>2</sup>.

Как известно, неустойчивость структуры лессовых грунтов объясняется характерной для этих грунтов слабой связностью структурных элементов. Прочность связей при этом зависит от состава и водостойкости агрегирующего вещества. Способность расслабления и разрушения при вибрации природного цементирующего вещества, создающего связность между частицами лесса, определяет полностью или в значительной степени характер связей. Характер связности лессовых

грунтов выражается физико-химической природной связью, их водостойкостью и механической прочностью.

Анализ показывает, что в случае, когда силы сцепления между частицами грунта не нарушаются действующим колебанием, деформация (сейсмопросадка) грунта не происходит.

Таким образом, можно отметить, что большая или меньшая сопротивляемость грунтов приложенной динамической нагрузке, в общем случае, зависит от их показателей прочности – угла трения ( $\varphi_w$ ) и общего сцепления ( $c_w$ ). В то же время, эти показатели, в свою очередь, зависят от влажности грунта и уменьшаются с увеличением влажности. Это обстоятельство свидетельствует о низком значении порога сейсмопросадочности увлажненных грунтов по сравнению с сухими.

На рисунке 1 приводится график изменения угла внутреннего трения лессового грунта в зависимости от его влажности. До значения влажности, например, для данного грунта порядка 15-20% наблюдается незначительное изменение угла трения (2-3%), а по мере увлажнения лесса угол трения резко уменьшается. По П.А.Ребиндеру это обстоятельство объясняется прямым следствием утолщения при переувлажнении грунта гидрантных оболочек на частицах с прогрессирующим нарушением и уменьшением числа контактов между частицами [1]. Можно предполагать, что уменьшение прочности увлажненных глин происходит в результате одновременного снижения и угла внутреннего трения.

Экспериментальное подтверждение такого вывода представляется практически невозможным в связи с проявлением в этих условиях роли сцепления грунта. Дело в том, что с увеличением расстояния между частицами в результате утолщения водных оболочек ослабляется воздействие молекулярных сил. При этом одновременно с уменьшением угла трения снижается и сцепление породы (рис.2). Поэтому выделение (в количественном выражении) угла внутреннего трения или сцепления в условиях вибрации весьма сложно. В

связи с этим целесообразнее оценивать прочностные характеристики ( $\varphi$  и  $c$ ) лессовых грунтов в зависимости от влажности.

Вместе с тем сухие лессовые грунты характеризуются наличием в структуре связей жесткого сцепления ( $c_c$ ), которые благодаря их слабости быстро нарушаются по мере увлажнения и при соответствующих по интенсивности сотрясениях.

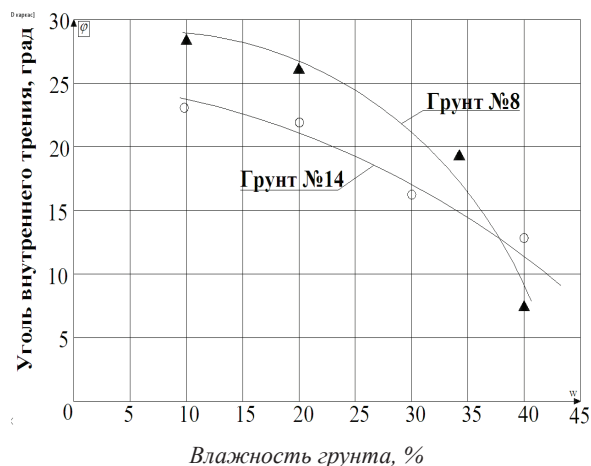


Рис. 1 – Изменение угла внутреннего трения лессовидных грунтов в зависимости от влажности

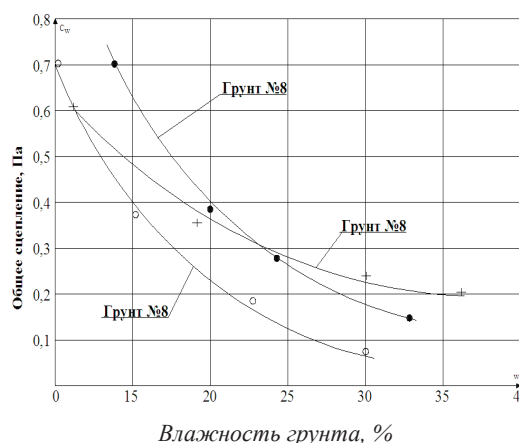


Рис. 2 – Снижение связности лессовых грунтов с увеличением их влажности

Это обстоятельство дает возможность представить (прочность) сопротивление сдвигу сухих лессов в виде:

$$S_{сх} = \sigma \cdot tg\varphi + c_c \quad (4)$$

В соответствии с выражением (4), прочность сухих лессов под динамической нагрузкой может считаться не зависящей от времени колебания, т.к. по данным профессора Н.Н. Маслова фактор времени свойственен

только увлажненным или полностью водонасыщенным грунтам [2].

В структурной прочности таких грунтов вместо структурного сцепления  $c_c$  имеется пластичная связность  $c_w$ , т.е. связность с водно-коллоидным свойством, зависящим от толщины водных оболочек на поверхности грунтовых частиц.

Это дает возможность заключить, что в рассматриваемых видах лессовых грунтов деформация происходит сразу с момента преодоления сейсмическим ускорением величины порога сейсмопрасадочности.

Сказанное подтверждается исследованиями, проведенными на сухих лессах. В качестве примера на рисунке 3 иллюстрирован график в виде зависимости изменения осадки грунта во времени, т.е.  $\eta = f(t)$ . На графике получено отражение результатов опытов, проведенных на сухих лессовых грунтах, отобранных с глубины 6,0 м. Из рисунка следует, что деформация исследованных лессов начинается с момента приложения динамической нагрузки к грунту, что подтверждает вывод о независимости структурного сцепления и угла трения грунтов в таком состоянии от времени сотрясения.

Что касается сильно увлажненных (водонасыщенных) лессовых грунтов в пластичном состоянии, то прочность их обуславливается лишь силами связности ( $c_w$ ), имеющими водно-коллоидный характер. В пластичных лессах как силы внутреннего трения ( $\varphi_w$ ), так и жесткие структурные связи ( $c_c$ ) практически отсутствуют. Отсюда для описания сопротивляемости пластичных лессов сдвигу имеем.

$$S_{пл} = c_w \quad (5)$$

Из этого выражения следует, что прочность пластичных лессовых грунтов зависит от состояния влажности, и поэтому нарушение их связности носит постепенный характер при соответствующем колебании. Согласно исследованиям, эти разновидности лессов способны к сейсмопрасадочной деформации при самых незначительных сейсмических воздействиях, так как они характеризуются небольшими значениями порога сейсмопрасадочности  $\alpha_{lim}$  (рис.3.).

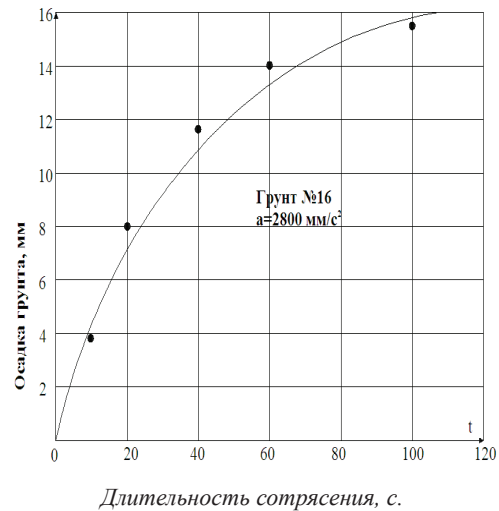


Рис. 3 – Характер изменения осадки грунта в процессе сотрясения

Малоувлажненные лессы характеризуются наличием в их прочности внутреннего трения ( $\varphi_w$ ) и связности ( $c_c$ ), а иногда в весьма слабой форме и структурного сцепления ( $c_c$ ).

Тогда прочность (сопротивляемость сдвигу) для таких грунтов имеет вид:

$$S_{pw}(t) = \sigma_{дин} th\varphi_w + c_w(t) + c_c \quad (6)$$

Для нарушения структуры малоувлажненных грунтов и проявления у них сейсмопрасадочной деформации требуется несколько большее ускорение и длительность колебания благодаря их повышенной прочности. Однако в данном случае решающими оказываются: величины связностей ( $c_w, c_c$ ) и интенсивность динамического воздействия. Вместе с тем, природная влажность грунта также играет существенную роль, повышение которой всегда связано со снижением связности грунта, что влечет за собой уменьшение свойственной этим грунтам величины порога сейсмопрасадочности  $\alpha_{lim}$ .

Вышеизложенное подкрепляет вывод об относительной независимости от времени факторов внутреннего трения ( $\varphi_w$ ) и структурного сцепления ( $c_c$ ) в условиях сотрясения лессовых грунтов. Считается, что связность ( $c_w$ ) сохраняет свое первоначальное состояние в пределах действующего сейсмического ускорения до величины порога сейсмопрасадочности, и с соблюдением условий  $\alpha_c > \alpha_{lim}$

она снижается во времени в определенных условиях до нуля.

Таким образом, роль длительности колебаний в ослаблении структурной прочности грунтов характерна только для лессовых грунтов, находящихся в увлажненном состоянии. Это многократно наблюдалось в проведенных нами экспериментах.

В заключение следует отметить, что в рассматриваемом плане весь вопрос сводит-

ся к установлению связности грунта, прочность которой при всех условиях определяет порог сеймопросадочности. По этой причине многие глинистые грунты могут оказаться сейсмоустойчивыми, если они обладают наиболее прочными силами связности. Длительность одной или нескольких фаз землетрясения в этих случаях является недостаточной для нарушения их связей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Расулов Х.З. Сейсмостойкость грунтовых оснований. – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1984. – 192 с.
2. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: «Высшая школа», 1982. – 571 с.

УДК 546.87  
МРНТИ 31.17.15

## ФОСФОР ШИКІЗАТЫНЫҢ ҚҰРАМЫНАН ВИСМУТ ҚОСПАЛАРЫН БӨЛІП АЛУ ҮРДІСІ

Г.Б. РИСБАЕВА, Х.Р. САДИЕВА, А.С. ДАРМЕНБАЕВА, А.Н. НУРЛЫБАЕВА,  
Э.А. БАЙБАЗАРОВА, Д.А. КУЛБАЕВА

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті*

*Аңдатпа:* Мақалада фосфор шикізаты құрамынан висмут қоспаларын бөліп алу үрдісі қарастырылған. Зерттеу жұмысы барысында висмут қоспаларын тұз қышқылымен шаймалап сілтілендіру арқылы бөліп алып, үрдіске әртүрлі факторлардың, атап айтқанда, пульваны араластыру қарқындылығының, реагент концентрациясының, қатты және сұйық заттардың қатынасының, процесс температурасының және уақыттың әсері зерттеліп, үрдісті жүргізудің оңтайлы шарттары анықталған.

*Түйінді сөздер:* фосфор шикізаты, висмут қоспалары, шаймалау, сілтілендіру, концентрация, температура

## PROCESSES FOR THE RECOVERY OF BISMUTH COMPOUNDS FROM THE COMPOSITION OF PHOSPHATE ROCK

*Abstract:* The article describes the process of separation of bismuth mixtures from phosphorous raw materials. During the study, bismuth mixtures were extracted by leaching with hydrochloric acid, in addition, the effects of various factors, such as the intensity of the pulp mixing, the concentration of reagents, the ratio of solids and liquids, temperature and process time, and the optimal conditions for the process were investigated.

*Keywords:* Phosphoric raw materials, bismuth mixtures, leaching, concentration, temperature

## ПРОЦЕССЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ВИСМУТА ИЗ СОСТАВА ФОСФОРИТНОГО СЫРЬЯ

*Аннотация:* В статье описан процесс отделения висмутовых смесей от фосфоритного сырья. В ходе исследования висмутовые смеси были извлечены выщелачиванием соляной кислотой, кроме того исследованы влияния различных факторов, таких как интенсивность перемешивания пульпы, концентрации реагентов, соотношения твердых и жидких веществ, температуры и времени процесса, а также определены оптимальные условия проведения процесса.

*Ключевые слова:* фосфорное сырье, висмутовые смеси, выщелачивание, концентрация, температура

### Кіріспе

Түсті, кара және сирек-жер металдарға өнеркәсіптің сұраныстары үнемі өсіп келеді, себебі олардың қолданылуы Қазақстанның стратегиялық және ғылыми-техникалық базасының дамуын айтарлықтай анықтайды. Бұл металдарды шикізаттың дәстүрлі көздерінен алудың белгілі әдістерін пайдалану олардың

қолданылу көлемдерін үнемі арттырып отырады [1-4]. Сондықтан шикізаттың дәстүрлі емес көздерінен және металлургиялық және химиялық өндірістің төмен концентрацияланған қалдықтарынан түсті және сирек-жер металдарын алудың жаңа тиімді әдістерін әзірлеу міндеті орынды болып саналады [5-6].

Сирек металдардың перспективалы және тұрақты шикізат көздері минералды тыңайтқыштарды өңдеу технологиялары негізінде алуға болатын апатит концентраттары болып табылады. Сирек жер металдарының негізінде материалдардың құнын төмендету үшін шикізатты кешенді өңдеу процесінде тікелей ала алады.

Висмут жер қабатында және көптеген белгілі минерал түрінде кеңінен таралғанына қарамастан, ірі, бай, таза висмут кен орындарын түзбейді және әдетте қорғасын, мыс, қалайы-молибден, мышьяк, темір рудаларында жұқа өсінділер түрінде кездеседі. Рудадағы висмуттың мөлшері көбінесе ондық немесе жүздік пайыздық үлесті (тек кейбір кен орындары үшін бірнеше пайыз) құрайды [7]. Рудаларды өндеген кезде висмут қорғасынды, мысты және басқа да концентраттарға өтеді. Сондықтан қазіргі уақытқа дейін негізінен қорғасын, мыс және қалайы өндірістерінде шамамен 90% висмутты ілеспе өнім түрінде алынады.

### Тәжірибелік бөлім

Зерттеудің мақсаты қышқыл ерітінділерімен шаймалау арқылы фосфор шикізатынан висмут қоспаларын бөліп алу болып табылады. Концентраттағы висмут қоспаларының мөлшері шамамен  $Bi < 0,0002\%$  болды.

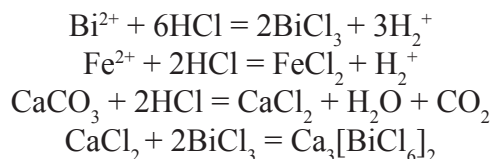
Шаймалау процесі термостатты араластырғышта жүргізілді, бұл гидродинамикалық режимде жоғары репродукциялы дәрежеде өткізуге мүмкіндік береді [8]. Температура 0,5 градус дәлдікпен сақталды. Ерітіндідегі висмуттың мөлшері МЕСТ 14047.4-78 бойынша колориметрлік әдіспен фотоэлектрлік концентрациясы арқылы анықталды.

Шаймалау реагентінің ерітіндісі 12,2 моль/дм<sup>3</sup> тұз қышқылымен (57% HCl) қолданумен дайындалған. Дистилденген су шикізатты қайнату үшін қолданылды.

### Нәтижелер және оларды талқылау

Тұз қышқылы ерітінділерімен шаймалау арқылы фосфоритті көп компонентті концентраттан висмут қоспаларын бөліп алу үшін руданың құрамы мынадай болды, %: Ni – 1,07, Co – 0,066, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 18,81, Bi – 0,52.

Руда тұз қышқылымен әрекеттескен кезде келесідей реакциялар жүреді:



Рудалардың құрамына және никель, кобальт, темір және висмут қасиеттеріне сүйене отырып, осы элементтердің барлығы тұз қышқылы ерітінділерімен шаймалау кезінде өнімді ерітіндіге сәтті өтеді деп болжауға болады.

Тұз қышқылы ерітіндісімен фосфорит шикізатын шаймалау арқылы висмут-құрамдас қоспаны бөліп алу реттілігі төмендегі суреттерде келтірілген.



1-сурет. Тұз қышқылымен шаймалау арқылы фосфорит шикізатынан висмут-құрамдас қоспаны бөліп алу

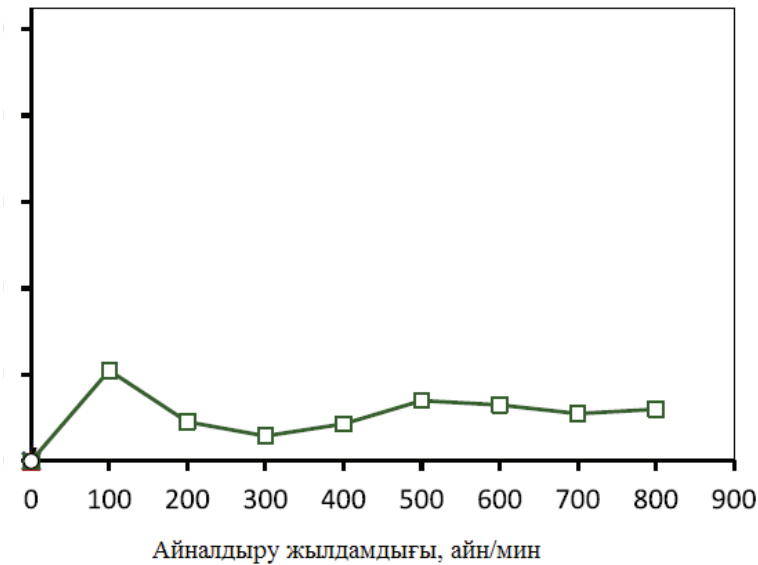


2-сурет. Шаймалау процесінен кейінгі пайда болған қатты висмут қоспасы

Бөліп алу үрдісіне әртүрлі факторлардың әсері зерттелді.

Пульпаны араластыру қарқындылығының әсері. Зерттеу барысында төмендегідей араластыру жылдамдықтары алынды: 100,

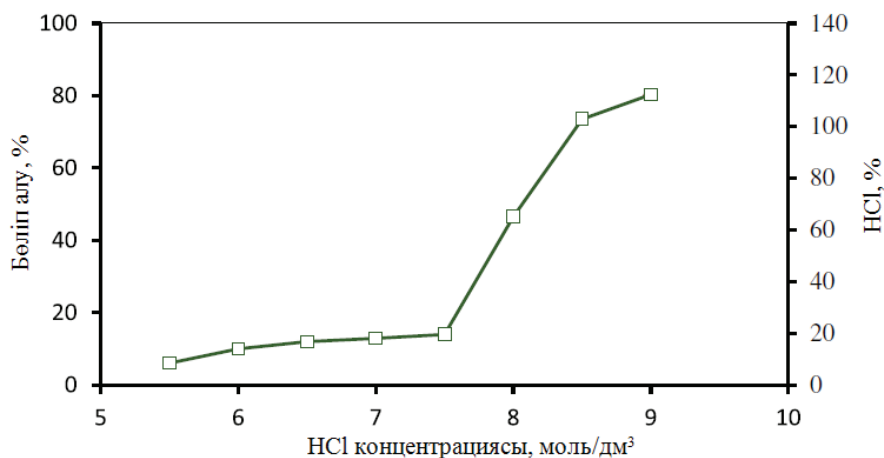
200, 300, 400, 500, 600, 700 және 800 айн/мин. Нәтижелері 3-суретте келтірілген.



3-сурет. Араластыру жылдамдығының бөліп алуға әсері, температура 60°C, тұз қышқылының концентрациясы 7,5 моль/дм<sup>3</sup>, қатты заттың сұйыққа қатынасы 1:2,6, тәжірибе ұзақтығы 1 сағ.

3-суретте көрсетілгендей, висмут, кальций, никель және темір араластыру жылдамдығы 100-200 айн/мин кезінде бөліп алудың ең жоғары мәнін көрсетті. Араластыру жылдамдығының одан әрі артуы нәтижесінде металл қоспаларын бөліп алу мөлшерінің шамалы өсуіне алып келді. Бұл фосфор концентратының тұз қышқылымен өзара әрекеттесуі жеткілікті жоғары екендігін және реакция бетіне реагенттің берілуі араластырудың тіпті төменгі үгіт жылдамдықтарында да елеулі өзгерістердің жоқ екендігін көрсетеді.

Реагент концентрациясының әсері. Эксперименттер тұз қышқылының келесідей концентрация мәндерінде жүргізілді - 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9 моль/дм<sup>3</sup>. Тәжірибе нәтижелері 4-суретте келтірілген. Суретте көрсетілгендей, тұз қышқылы концентрациясының артуы зерттеліп отырған компонентті бөліп алудың ұлғаюына әкеледі, олардың максималды еруі тұз қышқылының 7,5 моль/дм<sup>3</sup> және одан жоғары концентрацияда байқалады.



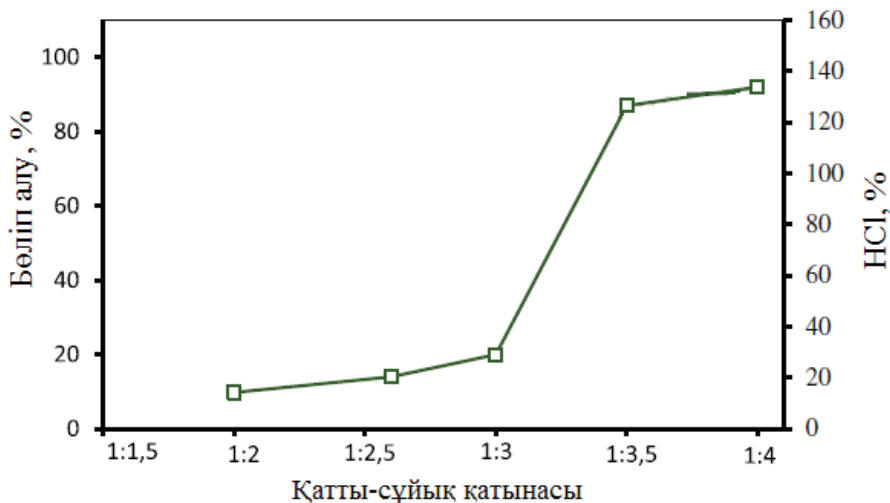
4-сурет. Тұз қышқылы концентрациясының висмут-құрамдас қосылыстарды бөліп алуға әсері, температура 60°C, Қ:С қатынасы 1:2,6, тәжірибе ұзақтығы 1 сағ, араластыргыштың жылдамдығы 500 айн/мин

Шаймалау арқылы бөліп алу үшін концентрілі тұз қышқылын қолдану керек, сол кезде бөліп алу шығымы да жоғары болады. Осылайша, тұз қышқылының оңтайлы концентрациясы 7,5 моль/дм<sup>3</sup> тең деп алынды, бұл висмут-құрамдас қоспаларды ~82% бөліп алуға алып келді.

*Қатты және сұйық заттардың қатынасының әсері.* Зерттеу барысында шаймалау

процесінің тұз қышқылы ерітіндісі көлемінің фосфорит шикізатының бірлік мөлшеріне Қ:С қатынасына тәуелділігі зерттелді. Тәжірибе Қ:С келесідей қатынастарында жүргізілді: 1:2; 1:2,6; 1:3; 1:3,5 және 1:4, зерттеу нәтижесі 5-суретте келтірілген.

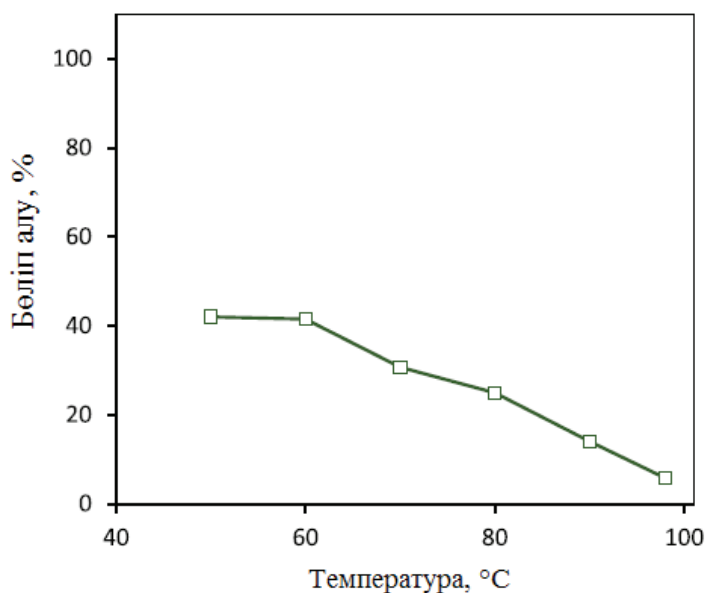
5-суреттен Қ:С қатынасы артқан сайын зерттелетін компоненттердің бөлініп алыну дәрежесінің артатынын көруге болады.



5-сурет. Қатты-сұйық қатынасының Bi бөліп алу дәрежесіне әсері

Қ:С қатынасы 1:2,6 және 1:3 (стехиометрия бойынша ~104 және 120% HCl сәйкес келеді) висмут-құрамдас компоненттерді бөліп алуда жоғары дәрежеге жететіні байқалады және ерітіндідегі висмуттың мөлшері сәйкесінше ~82 және ~88% құрады.

*Процесс температурасының әсері.* Зерттеу келесідей шаймалау температураларында жүргізілді: 50, 60, 70, 80, 90 және 98°C, нәтижелері 6-суретте келтірілген. Суреттен көріп отырғанымыздай, 50°C температурада висмут қоспаларын бөліп алу дәрежесі ~86% болды.

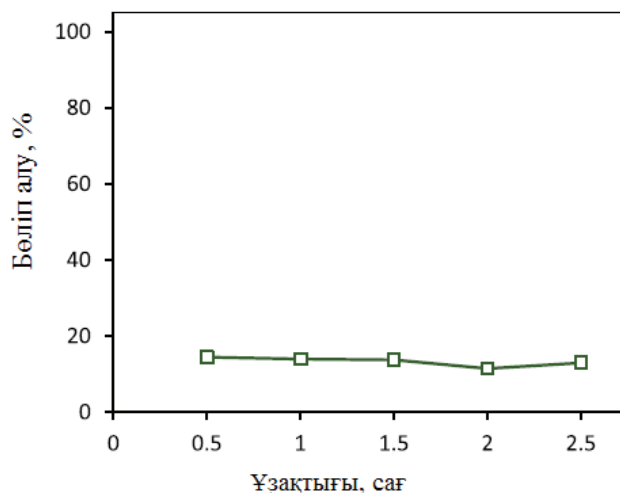


6-сурет. Висмут қоспаларын бөліп алуға температураның әсері: тұз қышқылы концентрациясы 7,5 моль/дм<sup>3</sup>, қатты заттың сұйық затқа қатынасы 1:2,6, тәжірибе ұзақтығы 1 сағ, араластыру жылдамдығы 500 айн/мин

Сондай-ақ, 60°-тан асқаннан кейін бөліп алу дәрежесінің төмендегенін байқауға болады. Мұны тұз қышқылының жоғары температура кезінде біртіндеп буланатынымен түсіндіріледі. Осылайша, висмут-құрамдас қоспаларды бөліп алу

үшін оңтайлы температура 50-60°С аралығы болып табылады.

*Уақыттың әсері.* Шаймалау бойынша эксперименттер келесідей уақыт аралығында жүргізілді: 0,5; 1; 1,5; 2 және 2,5 сағ. Тәжірибе нәтижелері 7-суретте келтірілген.



7-сурет. Шаймалау процесі ұзақтығының висмут-құрамдас қоспаларды бөліп алуға әсері: температура 60°С тұз қышқылы концентрациясы 7,5 моль/дм<sup>3</sup>, қатты заттың сұйық затқа қатынасы 1:2,6, тәжірибе ұзақтығы 1 сағ, араластыру жылдамдығы 500 айн/мин

Висмут қоспаларын бөліп алу дәрежесінің уақытқа байланысты өзгерісі айтарлықтай көп емес және ол 12-15% құрады. Эксперимент нәтижесі фосфорит шикізатынан висмут қоспаларын тұз қышқылымен бөліп алу дәрежесі процестің ұзақтығына тәуелді емес екендігін көрсетеді. Мұны шикізатты алдын ала сұйылту және 1 сағат ішінде қышқылдың пульпаға біртіндеп енгізуі әсер етеді және оның барысында фосфорит шикізатының құрамдас бөліктерінің тұз қышқылымен өзара әрекеттесетінімен түсіндіруге болады.

### Қорытынды

Эксперименттің нәтижелерін ескере отырып, тұз қышқылымен фосфорит шикізатын шаймалау әдісі келесі шарттарға сәйкес жүргізіледі деп қорытындылауға болады: тұз қышқылының концентрациясы - 7,5 моль/дм<sup>3</sup>; Қ:С қатынасы - 1: 2,6; температура - 60°С; процестің ұзақтығы – 1 сағат; пульпаны араластыруға арналған жылдамдық – 500 айн/мин. Осы жағдайларда ерітіндідегі висмут қоспасының шоғырлануы 0,1г/дм<sup>3</sup>. Висмут қоспаларын бөліп алу мөлшері 11,8% құрады.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Akhmetov I.K., Bobir N.M., Fert M.I., Tyurekhodzhaeva T.Sh., Issues of complete use of Karatau basin phosphate rock materials // Compr. Use Mineral Raw Mater. – 1981. – P. 59–62.
2. Китикова Л.А, Нестеров В.Г., Удалов Я.К. Технология извлечения висмута из упорных мышьяксодержащих руд // «Труды института Средазниипроект». – 1979. – № 23. – С. – 122-128.
3. Соловьева В.И., Хан О.А. Об электролитическом рафинировании висмутистого свинца в азотнокислом электролите // Журнал прикладной химии. – 1962. – №35. – Вып. 2. – С. 15-22.

4. Способ отделения висмута от свинца: Пат. 2049158 Россия, МКИ6 с 25 с 1/18/ Смольков А.А., Медков М. А., Захаров Б.П.; № 5065121/02; Заявл. 14.8.92; Оpubл. 27.11.95, Бюл. №23.
5. Dyakova E.I., Gordeeva G.I., Logvinenko A.T., Uryvaeva G.D. About the phase composition of phosphorus slags // *Complex Use Mineral Raw Mater.* – 2010. - №4. – P. 22–26.
6. Abisheva Z.S., Bochevskaya E.G., Zagorodnyaya A.N., Phrangulidi L.Kh., Habashi F. Phosphorus Slags as Raw Materials for Production of Precipitated Silicon Dioxide and Mineral Additives // *Proceedings of the XXIII International Mineral Processing Congress, Istanbul, Turkey.* – 2006. – vol. 2. - pp. 1287–1292.
7. Alonso E., Sherman A.M., Wallington T.J., Everson M.P., Field F.R., Roth R., Kirchain R.E. Evaluating rare earth element availability: a case with revolutionary demand from clean technologies // *Environ. Sci. Technol.* – 2012. - №46. – P. 3406–3414.
8. Kuzmin V.I., Pashkov G.L., Kartseva N.V., Okhlopkov S.S., Kychkin V.R., Suleimanov A.M. A method for extracting rare-earth metals and yttrium from coals and ash-and-slag wastes of their incineration // *Pat. Russian Federation No 2293134, IPC C22 B 59/00, C 22 B 3/06, C 22 B 3/26.* – 2007. - Applicant and Patentee: Institute of Chemistry and Chemical Technology of SB RAS (ICCT SB RAS); “Nizhne-Lenskoye” PC; Filed 26.05.2005; Publ. 10.02.2007.

УДК 622.34+661.183  
МРНТИ 61.31.40

## ҚАРАТАУ ФОСФОРИТТЕРІНІҢ ҚҰРАМЫНАН МЫРЫШ ҚОСЫЛЫСТАРЫН БӨЛУ ЖӘНЕ МЫРЫШҚҰРАМДЫ НАНОБӨЛШЕКТЕР СИНТЕЗДЕП АЛУ

Х.Р. САДИЕВА, Б.Қ. МАСАЛИМОВА, Ж.К. НАУРУЗБЕКОВ, А.С. ҚҰЛАЖАНОВА

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті*

**Аңдатпа:** Бұл ғылыми жұмыста Қаратау фосфориттерінен сирек жер элементтері және ауыспалы элементтерін бөліп алу баяндалған. Ауыспалы элемент ретінде цинкқұрамды қосылыстар таңдалды. Одан әрі «ULVAC JAPAN, Ltd.» компаниясының көміртекті нанотүтікше құрылғысында CN-CVD-100 әдісімен цинкқұрамды көміртекті нанобөлшектер алынды.

**Түйінді сөздер:** доломит қосылыстары, Қаратау кен орыны, фосфорит, нанобөлшектер

### THE EXTRACTION OF ZINC COMPOUNDS FROM PHOSPHORITES OF THE KARATAU ORE AND SYNTHESIS OF ZINC-CONTAINING NANOPARTICLES

**Abstract:** In this scientific work described the extraction of rare-earth and transition elements from the Karatau phosphate ore. Zinc-containing compounds were chosen as transition elements. Further obtained zinc-containing carbon nanoparticles by the methods of «CN-CVD-100» carbon nanotube company «ULVAC JAPAN, Ltd.»

**Keywords:** dolomite compounds, Karatau deposit, phosphorite, nanoparticles

### ВЫДЕЛЕНИЕ ЦИНКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ФОСФОРИТОВ КАРАТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И СИНТЕЗ ЦИНКОСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ

**Аннотация:** В данной научной работе изложено разделение редкоземельных и переходных элементов из руды фосфоритов Каратау. В качестве переходных элементов были выбраны цинкосодежащие соединения. Далее получены цинкосодежащие углеродные наночастицы методом «CN-CVD-100» углеродной нанотрубки компании «ULVAC JAPAN, Ltd.».

**Ключевые слова:** доломитные соединения, Каратауское месторождение, фосфорит, наночастицы

Қоры мен сапасы жағынан Қаратау фосфориттері дүние жүзінде алдыңғы қатардан орын алады. Мұндағы фосфор ангидридінің ( $P_2O_5$ ) мөлшері 27-37%-ды құрайды. Қаратау фосфорит алабы фосфориттері фосфорит түйірлері мен оолиттерден құралған. Түйірлердің ірілігі 0,07 – 0,3 мм. Ірілігі 0,05 – 0,4 мм оолиттер түйісе қабықтанған. Фосфат, негізінен, фторapatиттен тұрады.

Жамбыл облысындағы Қаратау кен орнындағы күрделі және тұрақты емес кендердің құрамы; біріншіден, зиянды қоспалардың және екінші кезекте – доломит қосылысы

түріндегі магнийдің болуы бұл кендерді экстракциялау тәсілі арқылы фосфор қышқылына тікелей өңдеу барысын қиындата түседі. Сол себепті фосфоритті шикізаттардың химиялық құрамын зерттей келе, ауыспалы және сирек элементтерін бөліп алудың жаңа әдісі жасалынды. Фосфаттардың құрамындағы  $P_2O_5$  және де темір, алюминий, магний, кальций, мырыш элементтері анықталынды. Фосфатты шикізаттардың құрамынан мырыш элементін бөлу технологиясын жасау, сонымен қатар мырыш фосфатын алу кезінде пайдаланылатын аппараттар мен қондырғылар

**1 кесте – Ақсай, Шолақтау, Жаңатас, Көкжон, Көксу фосфоритті кендерінің химиялық құрамы**

Компоненттері	Ақсай	Шолақтау	Жаңатас	Көкжон	Көксу
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	24,2	25,9	25,1	26,58	25,18
CO <sub>2</sub>	8,4	8,1	6,3	8,32	6,37
F	2,05	2,09	2,28	2,26	2,28
CaO	40,59	40,39	39,77	44,17	40,0
MgO	3,3	3,3	2,4	2,65	1,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	2,03	1,74	1,67	2,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,49	0,82	0,89	0,92	0,85
SiO <sub>2</sub>	14,07	14,01	17,66	9,63	17,77
H <sub>2</sub> O	2,0	0,75	1,4	1,6	1,2

қарастырылады. Бөлінген сирек және ауыспалы элементтерді нанокатализаторлар алуда қолданылуға болады [1].

Жамбыл облысындағы Қаратау кен орнындағы күрделі және тұрақты емес кендердің құрамы; біріншіден, зиянды қоспалардың және екінші кезекте – доломит қосылысы түріндегі магнийдің болуы бұл кендерді экстракциялау тәсілі арқылы фосфор қышқылына тікелей өңдеу барысын қиындата түседі. Бұл жағдайда Қаратау кен орнының фосфоритті шикізатын сары фосфорға өңдеудің электротермиялық әдісінің кең тарауына жол ашты. Сонымен қатар, Қазақстан Республикасында Ақтөбе облысында Богданов және Шилісай кен орындары кездеседі. Бұл кендердің фосфориттері электротермиялық өңдеу үшін әлеуетті көз ретінде қарастыра алады. Фосфорқұрамды кендердің орташа химиялық құрамы келесідей (%): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> -12; е.к.-53,36; CO<sub>2</sub>-2,83; CaO-20,54; H<sub>2</sub>O -0,85; TiO<sub>2</sub>-0,07; SiO<sub>2</sub>-52,34; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-2,23; MnO-0,03.

Фосфоритті кендер үлкен ұзындығымен және маңызды қуаттылықты өнімділік қыстыстарымен сипатталады. Фосфоритті кен қорлары 1,2 млрд.т жоғары көрсеткішті көрсетеді. Жамбыл облысы Қаратау алабы фосфор ангидрид P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> қорлары бойынша екінші орында, ал бірінші орында Ресей Федерациясында орналасқан Хибин кен орны кені. Қаратау фосфориттерінің фосфатты заты үшін минералдың торында фосфор атомдарының бөлігін көміртектен және гидроксилмен орын басумен шартталатын фторапатиттен гидрок-

силфторапатитке біртіндеп өтеді. Фосфориттердің цементтері негізінен доломитпен және кальцитпен берілген.

**Қаратау фосфориттерін азот және тұз қышқылдарында ыдырату**

Стандартты ұнтақталған 0,1-0,3% ылғалдылықтағы Көкжон, Көксу кендерінің фосфоритті ұны физика-химиялық қасиеттері бойынша көлемдік салмаққа (т/м<sup>3</sup>) ие: таспалы тасымалдағышта 1,1-1,2, вагондарға жаңадан үйілген 1,45-1,5, темір жол бойынша тасымалдағаннан кейін 1,6 дейін, ал қоймада ұзақ сақтағаннан кейін 1,8-2,0%.

Көкжонның, Көксудың құрғақ фосфоритті ұны өте сырғымалы, 15-20° бұрышпен төгіле отырып, сұйық сияқты жайылады. 0,75-1,5% дейін ылғалданған ұн аққыштығын жоғалтады. [2]

Қаратау фосфориттерінің доломитпен, доломиттенген әктаспен және магнезиялы силикаттармен ластануы оларды дайын өнімге өңдеудің өзіне тән ерекшелігін тудырады. Фосфориттерді магнийлі қосылыстардың қатысуымен күкірт қышқылымен ыдырату үш сатыда жүреді:

Бірінші саты H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> және MgSO<sub>4</sub> ерітінділерінің түзілуімен аяқталады. Басқа компоненттер бұға айналады немесе тұнбаға түседі. Екінші сатыда мономагнийфосфаттың түзілуі жүреді. Магний сульфатының жақсы ерітінді мономагнийфосфатқа айналуы Қаратау фосфориттерінің ыдырауының басты ерекшелігі болып табылады.

2 кесте – Қаратау фосфориттерінің химиялық құрамы

Сынаманың №	Оксидтердің массалық үлесі, %					
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F-ионы
Қаратау фосфориттерін HCl:HNO <sub>3</sub> (1:1) қоспасында ыдырату	23,53	24,5	3,29	0,7007	1,165	2,29
Қаратау фосфориттерін HCl:HNO <sub>3</sub> (3:1) қоспасында ыдырату	24,98	28,7	3,55	0,7772	1,194	2,035

Үшінші саты мономагний фосфаттың қатысуымен фосфор қышқылының қалдық апатитін ыдыратудан тұрады. Реакцияның үшінші сатысында фосфор қышқылының магний тотығының бейтараптану дәрежесінің жоғарылауымен фосфаттың ыдырауы қатты төмендейді. Осыған байланысты ең дұрысы құрамында P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> қатысты 6-8%-дан жоғары емес MgO болатын Қаратау фосфориттерінің кальций нитратына немесе кальций хлоридіне өңдеу. Кешенді тыңайтқыштар өндірісінде табиғи фосфаттарды азот немесе тұз қышқылымен өңдеуге ұшыратады. Бұл жағдайларда фосфор кенінде немесе концентратында қиын ерігіш қосылыстар азырақ ерігіш түрлерге ауысады. Біз Қаратаудың (Көкжон, Көксу кендері) фосфориттерін тұз және азот қышқылдарының (1:1) қатынасындағы қоспаларда 85-90°C температурада қыздырып, 30 минут аралығында қарқынды араластыра отырып ыдыратуды қарастырдық. Фосфориттерді ыдыратқаннан кейін, қатты фазаны сүзіп бөледі. Сыйымдылығы 250 мл колбаны алады, оған 5,0 мл фосфориттің сұйық концентратын құяды, белгісіне дейін дистилденген сумен жеткізеді. Бұл ерітіндіден аликвота алады және ары қарай төменде келтірілген әдістермен P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, кальций және магний оксидтерінің салмақтық үлесін (%) анықтайды. Бұл зерттеулердің нәтижелері 2 кестеде көрсетілген. [3]

Ары қарай біз фосфоритті концентраттан сирек жер элементтерді (СЖЭ) бөлуді зерттедік. Қаратау фосфориттерін (Көкжон, Көксу кендері) өңдеу кезінде алынған фосфоритті концентраттан сирек жер элементтерді (СЖЭ) бөлу тәсілінің маңызы қалдық қатты фазаны екіншілік ыдыратуға ұшыратуда. Фосфатты сирек жер элементті 1 кг 200 г ұсақ майдаланған екіншілік қойыртпақты (пульпаны) өл-

шейді. Бұл массаға 3 литр 2н азот қышқылын қосады. Бірінші тәсіл бойынша №1 сынама 2н азот қышқылымен қыздырады, екінші тәсілде №2 сынамаға қымыздық қышқылының қатысуымен Қ:С - 1:2,5-3,5 кезінде 2н тұз қышқылымен қыздыруды жүргізеді, массасынан сәйкесінше стехиометрия үстінен 50 мас. % мөлшерде сирек жер элементтерінің оксидтеріне алады, СЖЭ оксалаттарының тұнбасын сүзіп бөледі, сумен жуады және қатты қыздырады. Ары қарай сыйымдылығы 100 мл колбаға сұйық фазадан 1,0 мл ерітінді құяды, дистилденген сумен сұйылтады. Бұл ерітіндіден жалпы азотты, натрий нитриті мен P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, кальций мен магний, темір, алюминий, хлор оксидтерін және т.с.с. анықтаудың химиялық және физика-химиялық талдау үшін 5-10 мл аликвот алады. Қатты фазаны алдымен бөлме температурасында, содан соң 80-85°C температурада кептіргіш шкафта кептіреді және ылғалдың массалық үлесін анықтайды.

Сұйық фазалардан 2 әртүрлі сынамалар (фосфориттерді 2н азот қышқылымен ыдырату және фосфориттерді 2н тұз қышқылымен ыдырату) алынады, сыйымдылығы 100 мл колбаға 10 мл концентрат құяды, дистилденген сумен сұйылтады, жақсылап араластырады. Бұл ерітіндіден аликвота алады және Agilent 4200 MP-AES приборында атомды – эмиссиялық спектроскоптық әдіспен зерттеледі.

**Фосфориттердің сұйық концентраттарын Agilent 4200 MP-AES приборында атомды – эмиссиялық спектроскоптық әдіспен зерттеу**

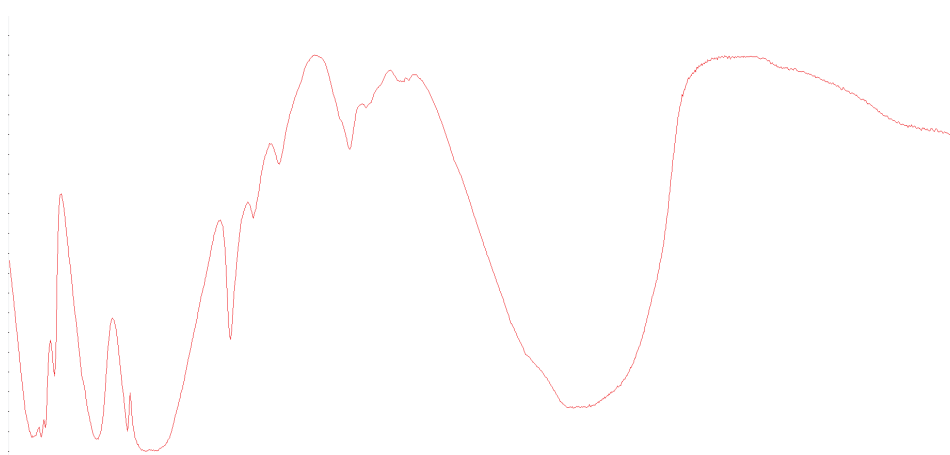
Талданатын заттың нәтижелері М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университетінің «Химия және химиялық технология» кафедрасындағы Agilent 4200 MP-AES австралиялық аппаратында зерттелді.

**3 кесте – Қаратау фосфориттерінің құрамындағы сирек жер элементті атомды – эмиссиялық спектроскопиялық әдіспен анықтау**

Сынама	Элементтің өлшемі (нм)	Концентрация	Өлшем бірлігі	SD	%RSD
Бастапқы фосфорит	Se (196,026 nm)	0,38	mg/L	0,11	27,74
1	Zn (213,857 nm)	0,05	mg/L	0,00	5,07
2	Cd (228,802 nm)	0,02	mg/L	0,00	19,50
3	Sr (407,771 nm)	0,25	mg/L	0,00	1,05
4	Ba (455,403 nm)	0,12	mg/L	0,00	0,74
5	Cu (324,754 nm)	0,01	mg/L	0,00	0,38
6	Ni (352,454 nm)	0,00	mg/L	0,00	73,51
7	As (193,695 nm)	0,84 u	mg/L	1,10	> 100,00
8	Co (340,512 nm)	0,00 u	mg/L	0,00	> 100,00
9	Pb (405,781 nm)	0,06	mg/L	0,00	3,14
10	K (766,491 nm)	0,14	mg/L	0,00	1,43
11	Mo (379,825 nm)	0,01	mg/L	0,00	1,36
12	Mn (403,076 nm)	0,15	mg/L	0,00	1,32
13	Cr (425,433 nm)	0,04	mg/L	0,00	0,97
14	Al (396,152 nm)	1,66	mg/L	0,03	1,70

Agilent 4200 MP-AES приборы басқаруға және мәліметтерді өңдеуге арналған интерфейс бар MPExpert жаңа бағдарламалық қамтамасыздандырумен толықтырылған. БҚ (бағдарламалық қамтамасыздандыру) құрамына оңтайландырудың автоматтандырылған жүйелері және талдаудың алдын ала орнатылған әдістерінің интерференциясы мен қо-

рын болдырмау кіреді. Agilent 4200 MP-AES металлургияда және тау-кен өнеркәсібінде геологиялық үлгілерді, жоғары таза алтынды, кенді материалдар мен гальваникалық ерітінділердегі металдардың болуын талдау үшін қолдануға болады. Фосфоритті концентратты атомды – эмиссиялық спектроскопиялық талдаудың нәтижелері 3-кестеде көрсетілді [3].



*1-сурет. Азот және тұз қышқылында Қаратау фосфориттерінің ыдыратылған екіншілік концентраттарының үлгілерін зерттеу үшін ИК-спектроскопиялық әдіс қолданылды. 1-суреттегі әлсіз көрсетілген жолақтар 2395 см<sup>-1</sup> жиіліктегі фосфор қышқылына тән, орташа көрсетілген жолақтар 667 см<sup>-1</sup>, 875 см<sup>-1</sup> жиіліктерге ие нитрат иондарына тән. Әлсіз жолақ 593 см<sup>-1</sup> силикат ионына, қарқынды жолақ 945 см<sup>-1</sup>, 1018 см<sup>-1</sup> фосфат иондарына, әлсіз жолақ 605 см<sup>-1</sup> сульфат ионына, орташа жолақ 700 см<sup>-1</sup> магний хлоридіне, орташа жолақ 2160 см<sup>-1</sup> кальций хлоридіне, ал орташа жолақ 1631 см<sup>-1</sup> мырыш хлоридіне сәйкес келеді*

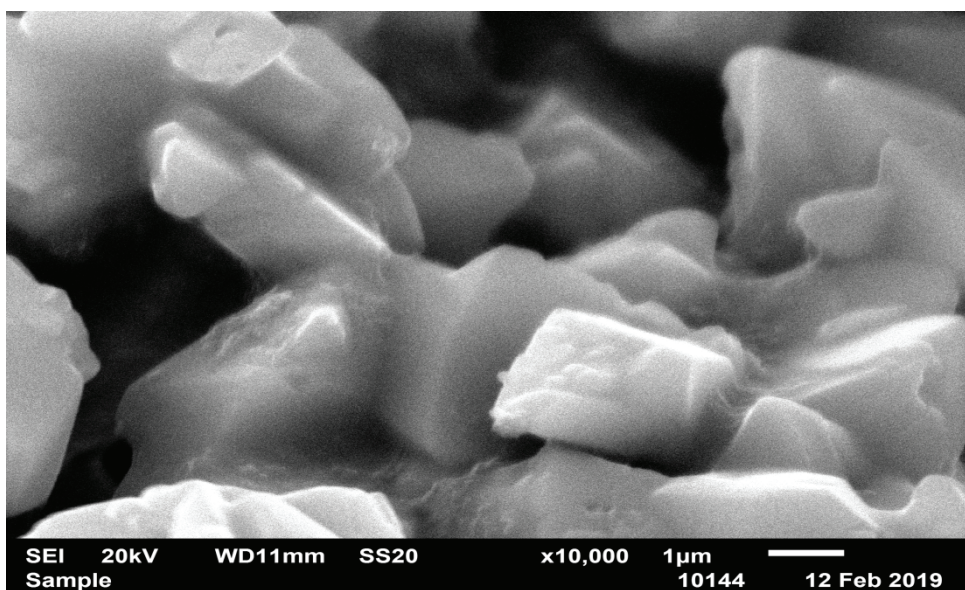
**Азот қышқылы мен тұз қышқылында ыдыратылған және ZnSO<sub>4</sub>-мен байытылған фосшикізат негізінде жасалған таблетка құрамын ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу**

Азот қышқылы мен тұз қышқылында ыдыратылған және ZnSO<sub>4</sub>-мен байытылған фосшикізат негізінде таблеткаларды жасалынған. Олар растрлы электрондық микроскопиялық әдіспен зерттелінді. Растрлы

электрондық микроскоп вакуумдық аспап болып табылады, себебі қалыпты атмосфералық қысымда электрондық бума қатты ыдырайды және жұтылады, бұл оның фокусталуына мүмкіндік бермейді. Сондықтан микроскоптың камерасындағы жұмыс вакуумы 10<sup>-5</sup> тор болуы тиіс. Төмендегі кестеде растрлы электрондық микроскоппен зерттеу кезінде рентгенфазалық құрамы көрсетілген.

**4 кесте – Тұз қышқылында ыдыратылған және мырыш сульфаты ерітіндісімен байытылған фосшикізат сынамасын рентгенфазалық әдіспен зерттеу нәтижелері**

Спектрлер	O	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Zn	Барлығы
Спектр 1	42,97	0,21	0,10	0,14	0,30	17,62	0,74	0,12	37,81	100,00
Спектр 2	43,46	0,22	0,06	0,15	0,30	17,84	0,72	0,17	37,07	100,00
Спектр 3	43,74	0,16	0,14	0,19	0,34	17,80	0,46	0,46	36,70	100,00
Арифметикалық ортасы	43,39	0,20	0,10	0,16	0,31	17,75	0,64	0,25	37,19	100,00



2-сурет. Тұз қышқылында ыдыратылған және мырыш сульфаты ерітіндісімен байытылған фосшикізат сынамасын растрлы электрондық микроскоппен түсірілген микроқұрылымы 10 000 есе үлкейтілген 1 нанометрмен өлшеніп көрсетілген

**«ULVAC JAPAN, Ltd.» компаниясының көміртегі нанотүтікшесінде «CN-CVD-100» әдісімен зерттеу әдістемесі**

«ULVAC JAPAN, Ltd.» компаниясының көміртегі нанотүтікшесі құрылысында «CN-CVD-100» әдісімен зерттеу жүргізілді. Бұл құрылғы зерттелетін қосылыстарды немесе заттарды таблетка ретінде престеп дайындап көлемі 1 см<sup>2</sup> болатын металл төсегіште қойып көміртегі нанотүтікшесінде өсіруге

негізделген. Құрылғы үш жүйеден тұрады; 1) өсіру жүйесі, 2) вакуумдық жүйе, 3) электрлі жүйе.

Өсіру камерасының ішкі диаметрі 55 мм ұзындығы 240 мм болады. Камераның ішкі жағында салқындатқыш ауа үрлейтін вентилятормен жабдықталған металл экраны болады. Зерттелетін заттарды диаметрі 1 дюйм (25 мм) болатын металл төсегішке орналастырады. Вакуумдық жүйе өнімділігі 100 л/мин форва-

куумдық насоспен жабдықталады. Өлшегіш құрылғыда – диафрагменді вакуумметр орнатылған. Газдарды жіберу (беру) жүйесінде 2 газ өлшеуіш болады. Газ өлшеуіштер сутегі –  $H_2$  және метан –  $CH_4$  газдарының босатылуы мен берілуін қамтамасыз етеді. Басқару жүйесіндегі вакуумдық айдау сенсорлы экран арқылы қолмен басқарылады.

1. Газды жіберу (беру) жүйесінде газды жіберу (беру) жылдамдығы бақылауда болады, 100 см<sup>3</sup>/секунда сутегі мен метан газы жіберіліп отырады. Газ тәрізді азот технологиялық газды сұйылту үшін қолданады, газды жіберу жылдамдығы 20 л/минут болу керек.

2. Төменгі болтты бұрап, кварцты шыны түтікшені орнату қажет. Төменгі болтты босатқан соң половинді фланец орнатылып, салқиндатқыш вентилятор қосылады.

3. Құрылғыға зерттелетін затты орнатып, көміртегі нанотүтікшені іске қосқан соң сенсорлы экранда «CN-CVD-100» әдісімен зерттеуге дайындығы сигнал арқылы белгілі болады.

4. Зерттеуге дайындалған заттарды металл төсегішке қойып, оны құрылғыға бекітіп, плазмамен жабдықталған кварцты шыны түтікшені көміртегі нанотүтікшесіне бағыттап іске қосқан соң, газ жіберу жүйесінен 260-280 кПа қысыммен метан газы беріледі, 600<sup>0</sup>C температурада метан газы жанып, сутегі ыдырайды, түзілген көміртегі темір төсегіште

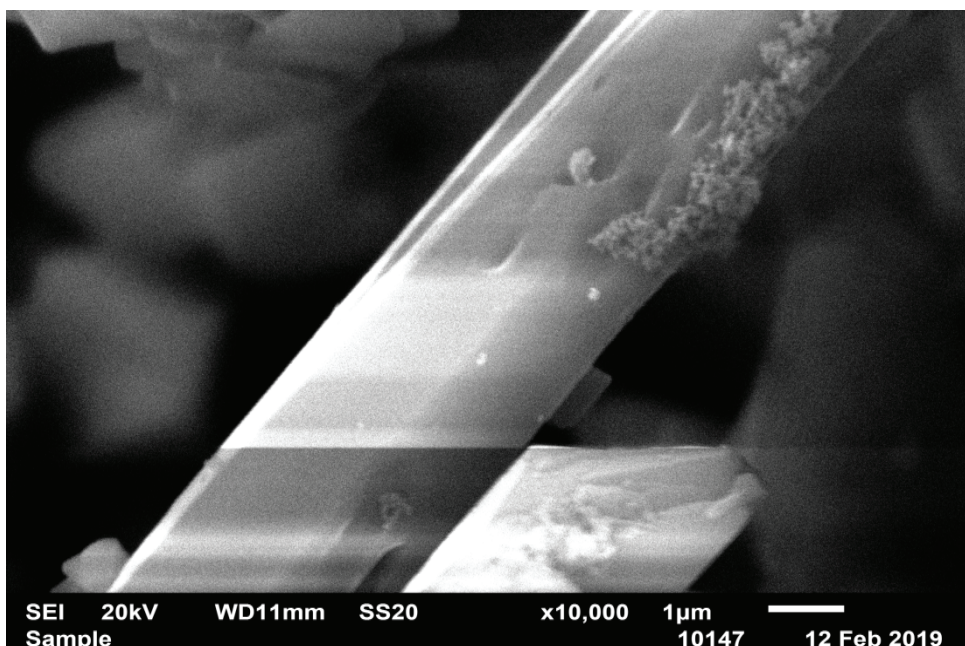
орнатылған зерттелетін заттың бетіне біртіндеп көміртегі қонып өсіп жетіледі. Дайындалған таблетканы көміртегі нанотүтікшесі құрылғысында «CN-CVD-100» әдісімен зерттеу жүргізілді. Зерттелетін қосылыстарды металл төсегішке орналастырып, көміртегі нанотүтікшесінде 15 минут уақытқа қойылып, зерттеу нәтижесінде таблетканың түсі қара түске өзгерді. Таблетканы құрылғыдан түсіріп, суытып, оның микроқұрылымын зерттеу жұмысы жүргізілді.

Фосфоритті шикізат құрамынан мырыш құрамды қосылыстарды байыту арқылы бөлу, бөліп алу технологиясы және бөлініп алынған қосылыстардың беткі қабатына «ULVAC JAPAN, Ltd.» компаниясының көміртегі нанотүтікшесі құрылғысында «CN-CVD-100» әдісімен зерттеу жүргізілді. Дайындалған сынама таблеткаларға нанотүтікшелі көміртекті қондырып, іс жүзінде пайдалану мүмкіндіктері қарастырылды. Зерттеу жұмысы барысында фосфоритті шикізат және бөлініп алынған қосылыстар спектрофотометриялық, атомды-эмиссиялық, рентгенфазалық әдістермен талданды, растрлы электронды микроскоп арқылы микроқұрылымы зерттелді.

Заттың құрамына кіретін элементтердің белгілі массалық үлестері бойынша олардың химиялық формулаларын қорытып шығару үшін арифметикалық әдістерді пайдаланып, рентгенфазалық сараптама бойынша шыққан

**5 кесте – Тұз қышқылында ыдыратылған және мырыш сульфаты ерітіндісімен байытылған фосшикізат сынамасын бөлініп алынған қосылыстардың беткі қабатына «CN-CVD-100» әдісімен нанотүтікшелі көміртекті қондырып рентгенфазалық әдіспен зерттеу нәтижелері**

№1 сынаманың спектрлері	C	O	Al	Si	P	S	Ca	Zn	Барлығы
Спектр 1	13,32	36,67	0,08	0,07	0,25	15,10	0,71	33,80	100,00
Спектр 2	14,69	36,84	0,05	0,11	0,23	14,83	0,23	33,03	100,00
Спектр 3	13,52	37,07	0,06	0,09	0,29	15,04	0,25	33,68	100,00
Арифметикалық ортасы	13,84	36,86	0,06	0,09	0,26	14,99	0,40	33,50	100,00



3-сурет. «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесі өсірілген тұз қышқылында ыдыратылған және мырыш сульфаты ерітіндісімен байытылған фосшикізат сынамасын растрлы электронды микроскоппен түсірілген микроқұрылымы 10000 есе үлкейтілген 1 нанометрмен өлшеніп көрсетілген

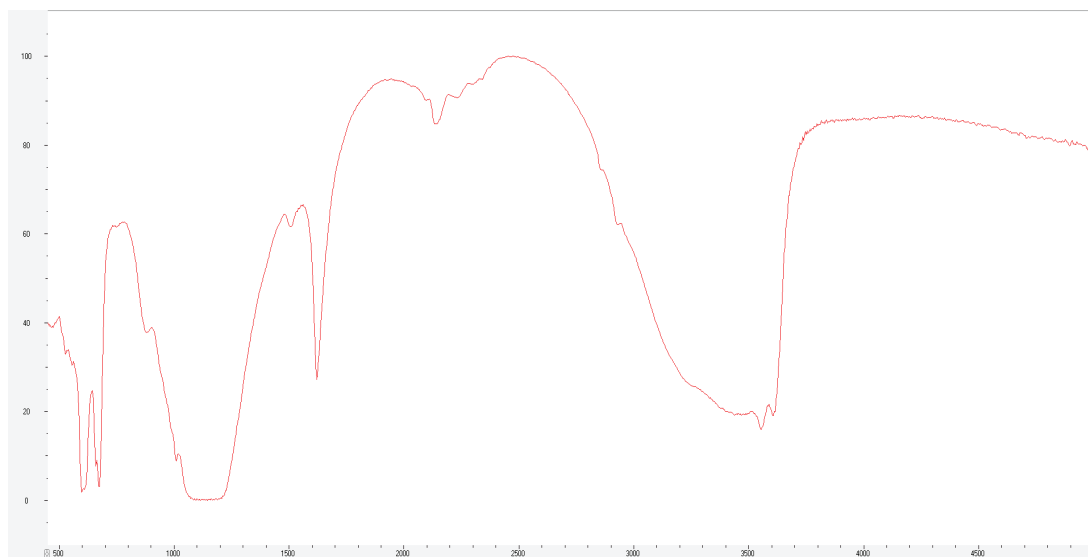
элементтердің массалық үлесін, % элементтердің салыстырмалы атомдық массасына бөліп шығарып аламыз, содан кейін ең кіші ортақ санға бөліп жібереміз де, шыққан санды 100% ға бөлеміз. Сол кезде түзілген өнімнің құрамында элементтердің атом саны шығады.

Азот және тұз қышқылында Қаратау фосфориттерінің ыдыратылған және мырыш

сульфаты ерітіндісімен байытылып, «ULVAC JAPAN, Ltd.» компаниясының көміртегі нанотүтікшесі құрылғысында «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесінде көміртегі қондырылған нанотүтікше пайда болған үлгілердің құрамында қандай қосылыстар бар екенін зерттеу үшін ИК-спектроскопиялық әдіс қолданылды.

**6 кесте – Түзілген өнімнің құрамындағы элементтердің атом санын есептеу**

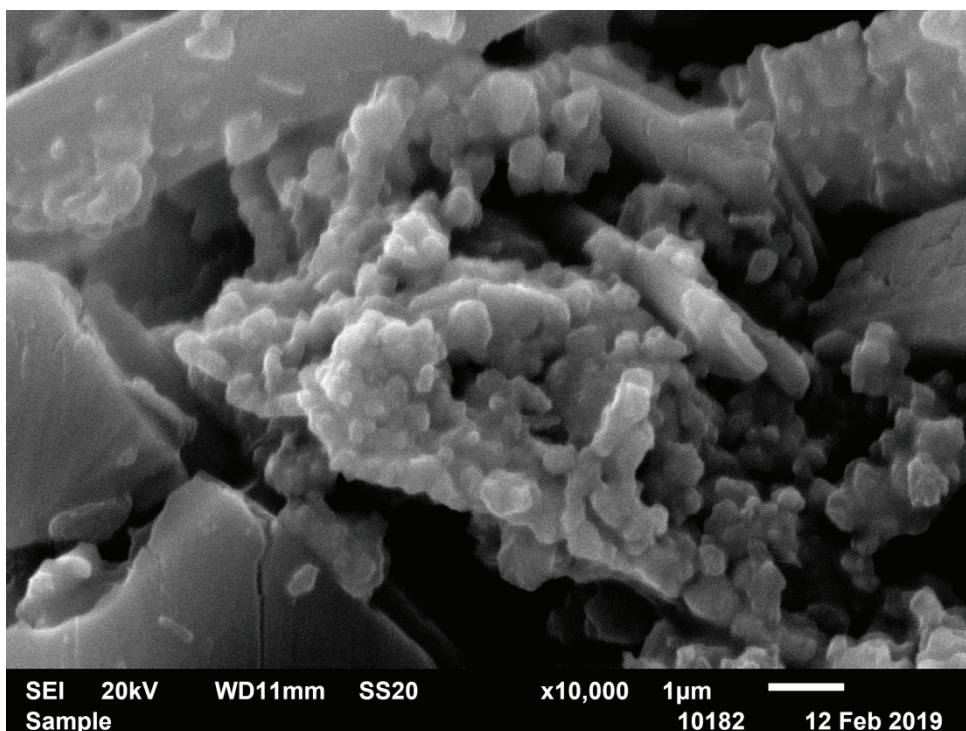
Сынама №1	Элементтің атауы	Салыс-лы атомдық массасы, g	Массалық үлесі, %	W/Mr, %	Арифметикалық есептеу нәтижесі
1	C	12	13,84	1,15	5,22
2	O	16	36,86	2,30	10,45
3	Al	27	0,06	0,0022	0,01
4	Si	28	0,09	0,0032	0,0145
5	P	31	0,26	0,0084	0,0382
6	S	32	14,99	0,47	2,14
7	Ca	40	0,40	0,01	0,00455
8	Zn	65	33,50	0,52	2,36
Жалпы формуласы	$C_3O_{10}AlSiCaPSZn_3$ C-O-Ca-C-O-Al-C-O-Si-C-O-Si-O-P-O-S-O-Zn-O-C-O-Zn-O-.....				



4-сурет. Осы суреттегі әлсіз көрсетілген жолақтар 2454 см<sup>-1</sup> жиіліктегі фосфор қышқылына тән, орташа көрсетілген жолақтар 643 см<sup>-1</sup>, жиіліктерге ие сульфат иондарына тән. Әлсіз жолақ 500 см<sup>-1</sup>, 782 см<sup>-1</sup>, силикат ионына, әлсіз жолақ 1018 см<sup>-1</sup>, 1053 см<sup>-1</sup> фосфат иондарына, әлсіз жолақ 605 см<sup>-1</sup> сульфат ионына, әлсіз жолақ 776 см<sup>-1</sup> темір хлоридіне, әлсіз жолақ 2454 см<sup>-1</sup> кальций хлоридіне, ал орташа жолақ 1504 см<sup>-1</sup> мырыш хлоридіне, орташа жолақ 2044 см<sup>-1</sup>, 2563 см<sup>-1</sup> көміртегіне сәйкес келеді

**7 кесте – Азот қышқылында ыдыратылған және мырыш сульфаты ерітіндісімен байытылған фосфитат сынамасын бөлініп алынған қосылыстардың беткі қабатына «CN-CVD-100» әдісімен нанотүтікшелі көміртекті қондырып рентгенфазалық әдіспен зерттеу нәтижелері**

№2 сынаманың спектрлері	C	O	Al	Si	P	S	Ca	Fe	Zn	Барлығы
Спектр 1	13,61	39,10	0,07	0,20	1,60	16,56	15,85	0,60	12,40	100,00
Спектр 2	12,98	39,97	0,05	0,20	1,89	16,37	16,33	0,56	11,66	100,00
Спектр 3	12,85	40,24	0,00	0,20	1,60	16,73	16,21	0,56	11,61	100,00
Арифметикалық ортасы	13,14	39,77	0,04	0,20	1,70	16,56	16,13	0,57	11,89	100,00



5-сурет. «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесі өсірілген азот қышқылында ыдыратылған және мырыш сульфаты ерітіндісімен байытылған фосшикізат сынамасын растрлы электронды микроскоппен түсірілген микроқұрылымы 10000 есе үлкейтілген 1 нанометрмен өлшеніп көрсетілген

**8 кесте – Түзілген өнімнің құрамындағы элементтердің атом санын есептеу**

Сынама №1	Элементтің атауы	Салыс-лы атомдық массасы, g	Массалық үлесі, %	W/Mr, %	Арифметикалық есептеу нәтижесі
1	C	12	13,14	1,1	7,33
2	O	16	39,77	2,49	16,60
3	Al	27	0,04	0,0015	1
4	Si	28	0,20	0,0071	4,73
5	P	31	1,70	0,55	3,67
6	S	32	16,56	0,52	3,47
7	Fe	56	0,57	0,010	0,066
8	Zn	65	33,50	0,52	3,47
Жалпы формуласы	$C_7O_{17}AlSi_4FeP_4S_3Zn_4$ C-O-S-Fe-P-O-C-O-Zn-O-Al-C-S-O-Si-C-O-Si-O-P-O-S-O-Zn-O-C-O-Zn-O-C-Si-O-S-Zn-Si-C-O-P-O-P-O-Zn-O-				

Тәжірибені қорытындылай келе, Қаратау фосфориттерінің құрамында түрлі ауыспалы және сирек кездесетін жер элементтері болатындығы анықталды. Соның ішінде мырыш ионын мырыш сульфаты ерітіндісімен байыта отырып, бөліп алып, түзілген ақ түсті тұнбаны сүзіп, кептіріп және престап таблетка дайындалды. Осы таблетканы «ULVAC JAPAN, Ltd.» компаниясының көміртегі нанотүтікшесі

құрылысында «CN-CVD-100» әдісімен көміртегі нанотүтікшесінде көміртегіні қондыру арқылы мырышқұрамды нанотүтікше тәрізді нанобөлшектер алынды. Бұл алынған өнімді сорбент ретінде химиялық және мұнай-газ өндірісінің сұйық қалдықтарын және шайынды суларды тазалау кезінде қолдануға болады.

Нанобөлшектер беттік қабаттардың жанасуы кезінде өте активті түрде әрекеттесіп,

судың ішіндегі қажет емес заттарды тез сіңіріп алады. Сондықтан нанобөлшектердің ерекше класы ретінде наномырыш препараттарын пайдалану перспективті болып саналады.

Судың сапасы фильтрленген элементтерге байланысты болып табылады. Ал фильтр судың өлшенген бөлшектерінен, оның ішінде

темір гидроксиді бөлшектері, ауыр металдар тұздары, марганец, мышьяк, алюминий қалдықтары, нитраттар, мұнай өнімдерінен тазалау (минералдық құрамын өзгертпей) үшін қажет, сонымен қатар лайлылығын кетіруге, дәмінің сапасын жақсартуға, ауру қоздырушы бактерияларды азайтуға қолданылады.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Лебедев В.Н., Сергеева С.Д., Маслобоев В.А., Локшин Э.П./Способ переработки фосфатного редкоземельного концентрата, выделенного из апатита. Авторское свидетельство (21) 4919455/26 (22) 14.03.91 (46) 30,05;93. Бюл, №20 (71) Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра АН СССР (72).
2. Моисеев С.Д., Семенов В.А., Шелехова Г.А. Экстракционная очистка фосфатного редкоземельного концентрата, получаемого при переработке апатита// Химическая промышленность, 1981. – № 8. – С. 24-27.
3. Х.Р. Садиева, Д.Г. Балтабаева, А. Елеукен, Н. Толеген, Г. Рыспаева// Разложение фосфоритов Каратау минеральными кислотами и извлечение редкоземельных элементов из вторичных концентратов//Фонд Первого Президента РК – ЕЛБАСЫ, XI Между-я науч.конф-я, «Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане». – 2017. – С. 55-59.
4. Вальков А.В., Сергиевский В.В. Извлечение редкоземельных элементов из азотно-фосфорнокислых растворов. /Международная конференция. Редкоземельные металлы: Переработка сырья, производство соединений и материалов на их основе. Тез. докладов, Красноярск, 1995. – С. 45-48.

УДК 660.6:571.02  
МРНТИ 31.17.29

## АЛЮМИНИЙМЫС КЕШЕНІНІҢ ҚҰРЫЛЫСЫН ИҚ-СПЕКТРОСКОПИЯЛЫҚ ТАЛДАУ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Г.А. СЕЙТБЕКОВА, А.Н. НУРЛЫБАЕВА, Д.А. КУЛБАЕВА,  
У. АҚНАЗАР, У. САҒЫНДЫҚ

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті*

**Аңдатпа:** Осы жұмыста «Алюминий сульфаты-мыс сульфаты-су» жүйесіндегі компоненттердің өзара әрекеттесуін 25°C-де изотермиялық ерігіштігі әдісімен зерттеудің нәтижесінде қатты фаза түрінде жаңа гетерополиядролы қосылыс түзілетін ерітінділердің концентрациялық шектері алынған. Олардың молекула құрамы мен құрылымы ИҚ–спектроскопия, рентгенодифрактометриялық және термогравиметриялық талдау әдістерімен зерттелді.

**Түйінді сөздер:** дериватограмма, ИК-спектроскопия, гетерополиядролы, алюминий, Бюхнер сүзгісі, рентген, дифрактограмма, рентгендік дифрактометр

### IR - SPECTROSCOPIC METHOD OF RESEARCH OF THE STRUCTURE OF THE COMPLEX ALUMINUM COPPER

**Abstract:** In this work, we obtained the limits of the concentration of solutions of new heteropolynuclear compounds obtained in the solid phase as a result of studying the interaction of components in the aluminum sulfate copper – water sulfate system by isothermal solubility at 25°C. Their molecular structure and structure were investigated by IR spectroscopy, X-ray and thermogravimetric analysis.

**Keywords:** Dermatology, IR spectroscopy, heteropolynuclear, aluminum, Buchner filter, X-ray, diffractogram, X-ray diffractometer

### ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЙМЕДНОГО КОМПЛЕКСА

**Аннотация:** В данной работе были получены пределы концентрации растворов новых гетерополиядерных соединений, полученных в твердой фазе в результате изучения взаимодействия компонентов в системе алюминий сульфат-меди сульфат-вода методом изотермической растворимости при 25°C. Их молекулярная структура и состав были исследованы методами ИК-спектроскопии, рентгенографии и термогравиметрического анализа.

**Ключевые слова:** дериватограмма, ИК-спектроскопия, гетерополиядерный, алюминий, фильтр Бюхнера, рентген, дифрактограмма, рентгеновский дифрактометр

Соңғы кезде үштік жүйені зерттеуден алынған ерігіштік туралы мәліметтер гетерополиядролы кешенді қосылыстың түзілу аймағын және синтездеу жағдайын анықтауға мүмкіндік береді және анықтамалық материалдар ретінде қолданылуы мүмкін.

Арзан және қол жететін алюминий және мыс тұздарын кешенді минералды илегіштер

құрамында болуы кешенді минералды илегіштер ассортиментін көбейтуге және өндірістегі улы, қоры аз хром қосылыстарын үнемдеп, экологиялық және экономикалық жағынан тиімді қолданыста болатыны ықтимал.

Ұсынылған мақалада алюминий және мыс сульфаттары негізінде «таза» дербес үш

компонентті гетерополиядролы кешенді қосылыстарды алу, олардың физика-химиялық және илегіштік қасиеттерін зерттеу жағдайлары қарастырылған.

### Тәжірибелік бөлім

Жаңа қосылыстың құрамын анықтау мақсатында ерігіштік әдісі бойынша дәлелденген аймақтан бірнеше гетерогенді қоспалар дайындалып, синтезделді. Синтездеу үшін алюминий сульфаты, мыс сульфаты және судан тұратын үш компонентті гетерогенді қоспалар дайындалды. Осы қоспалардағы компоненттердің арақатынасы ерігіштік диаграммасындағы кристалдану аймағында жататын қосылыстардың пайыздық құрамына сәйкес келеді. Қоспалар бірнеше тәулік (5-6 тәулік) бөлме температурасында ұсталды, сонан соң 25<sup>0</sup>C-де сұйық және қатты фазалар арасында тепе-теңдік орнағанша үздіксіз араластыра отырып термостатқа жайғастырылды. Түзілген тұнбаны Бюхнер сүзгішінде сүздік те, Петри табақшаларына құйып салмағы тұрақты болғанша CaCl<sub>2</sub> үстінде кептірдік. Алынған Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 5,5CuSO<sub>4</sub> · 32H<sub>2</sub>O (АМК) қосылысы көк түсті, жалтыраған ине тәрізді кристалдар, суда жақсы ериді.

Түзілген жаңа қосылыстың құрамын анықтау үшін, синтезделген кешенге химиялық талдау жасалынды. Талдау мыс, алюминий, күкірт тотықтарына және судың құрамына жүргізілді. Алюминий мыс кешенінің құрамындағы алюминийдің құрамын комплексонометриялық [1], мыстың құрамын көлемдік әдіспен [2], күкірт тотығының құрамы салмақтық әдіс бойынша анықталды [2, 3]. Судың құрамы бюкске салынған 1 грамм қоспаны тұрақты салмаққа жеткенше 105<sup>0</sup>C температурада кептіру арқылы айқындалды. Ішкі сфералық су 0.5 – 1 грамм қоспа салынған Пенфильд түтікшесін 700-1000<sup>0</sup>C-ге дейін қыздыру арқылы Бруш-Пенфильд әдісі бойынша анықталды [2, 4].

Алюминиймыс кешені үшін заттардың массалық үлесі: CuO - 8.15%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2.85%, SO<sub>3</sub> – 34.61%, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> - 31.61%, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> -11.08%, құрайды.

Алынған мәліметтер гетерополиядролы алюминиймыс кешенді қосылысты алудың негізі болып табылады.

### Нәтижелер және оларды талқылау

Инфрақызыл спектрлерді зерттеу, молекула құрылымының талдауы үшін маңызды, себебі белгілі бір атомдар тобы белгілі бір интенсивті жұтылу жолақтарымен немесе сипаттамалық жиіліктермен сипатталады.

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - тобы ИҚ-спектрде оның валенттік, деформациялық және басқа да тербеліс түрлеріне сәйкес келетін 500 см<sup>-1</sup>-ден 600 см<sup>-1</sup> дейінгі және 1000 см<sup>-1</sup>-ден 1200 см<sup>-1</sup> дейінгі толқын сандары аймағында жұтылу жолақтарының үлкен санын беретіндігі белгілі [5, 6, 7, 8].

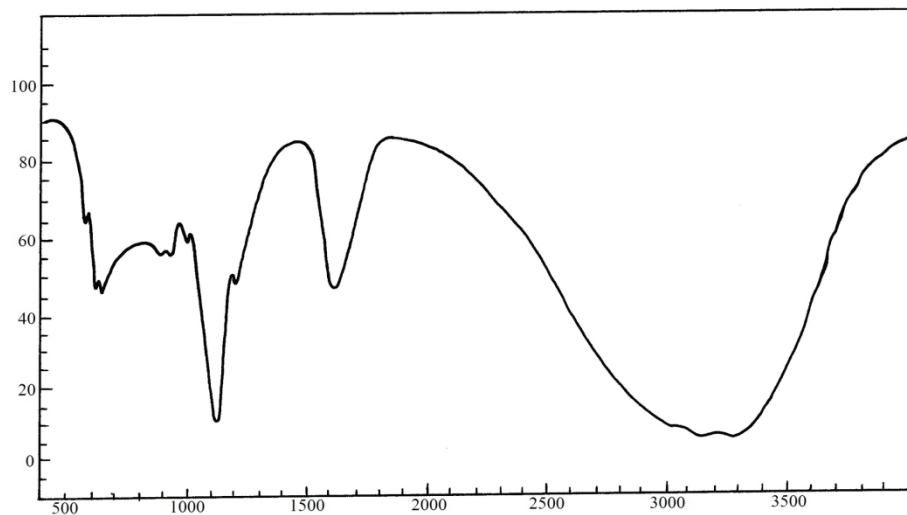
Алынған гетерополиядролы кешендердің құрамындағы SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> байланыстарының табиғатын зерттеу үшін 1100 см<sup>-1</sup> аймағындағы сульфатотоптың валенттік тербелістеріне көңіл аударған жөн, өйткені осы аймақтағы тербеліс қосылыстардағы SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> күйін нақты анықтап береді.

Сульфат-ион бос күйінде жоғары симметрияның T<sub>d</sub> нүктелік тобына жатады [5]. Ол монодролы лиганд ретінде әсер еткенде, оның симметриясы C<sub>3v</sub> дейін төмендейді, ал цикл немесе көпірше түзу кезінде SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> симметриясы C<sub>2v</sub> дейін төмендейді. Симметрия жағдайына байланысты кешеннің ішкі сфералық сульфатотоптарына ν<sub>3</sub> төмендеуі және ν<sub>2</sub> пайда болуы сәйкес келеді деп есептейді.

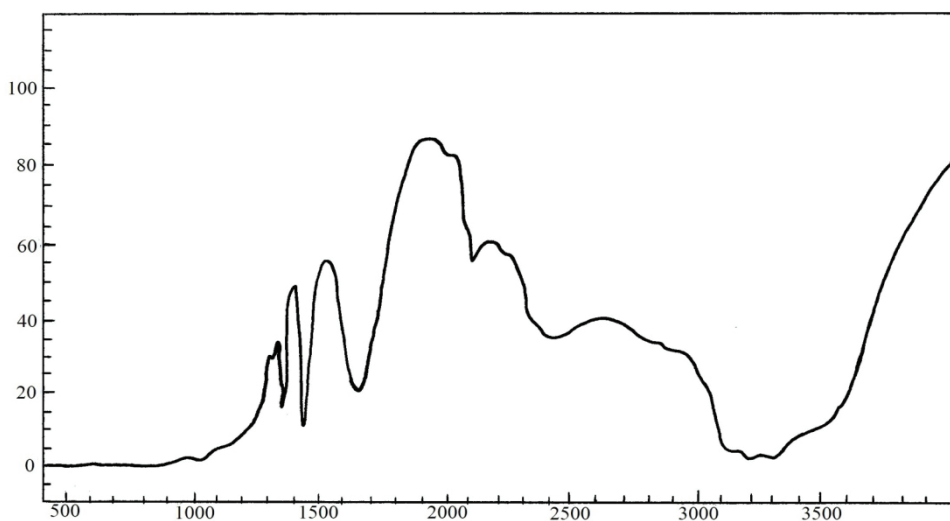
Сульфат-ионының көпіршелі немесе циклдік күйі спектрде 1050 см<sup>-1</sup> –ден 1150 см<sup>-1</sup> -ге дейінгі аймақтарда үш төбешікті (пик) беруі тиіс [9]. Сыртқы сфералық өзара әрекеттесу бос SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - ионының спектрін айтарлықтай өзгертпеуі керек [6]. Авторлардың [7] пайымдауынша сульфат-ионының көпіршелік немесе координацияланған күйіне жатқызуға болатын 1100 см<sup>-1</sup> аймағында SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> жолақтары үш төбешік түрінде бейнеленген.

Алюминий сульфаты (1-сурет), мыс сульфаты (2-сурет) және синтезделініп алынған алюминиймыс кешенінің (3-сурет) жұтылуының ИҚ-спектрлерін салыстырғанда гетерополиядролы кешеннің жұтылу спектрлері дербес екенін көрсетеді.

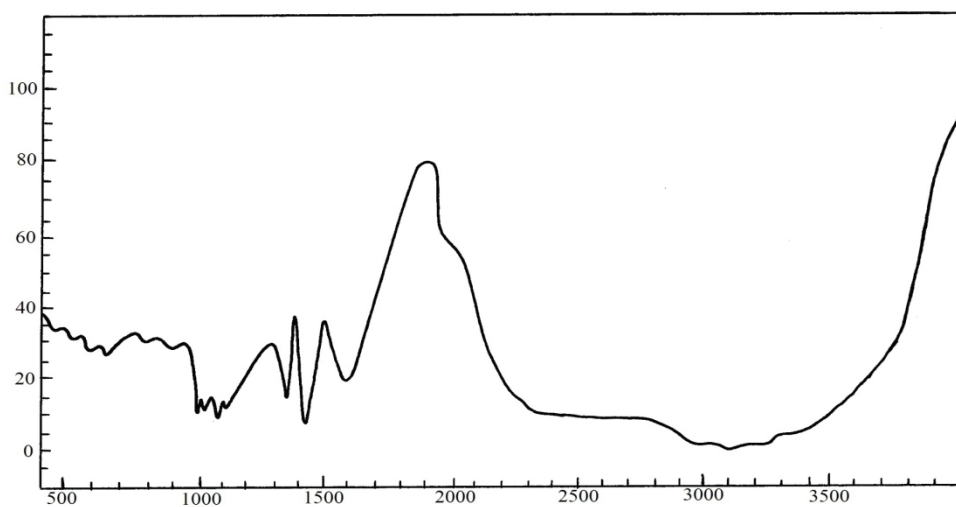
Алюминий сульфатының жұтылу спектрінде (1-сурет) алюминий кешенімен сыртқы сфералық байланыс түзуге дәлел болатын, бос



1-сурет. Алюминий сульфатының ИҚ спектрі



2-сурет. Мыс сульфатының ИҚ спектрі



3-сурет. Алюминиймыс кешенінің ИҚ спектрі

сульфат ионына сәйкес келетін  $1107\text{ см}^{-1}$  аймағында бір ғана күшті жолақ және  $1195\text{ см}^{-1}$  иық бар [10].  $612\text{ см}^{-1}$  кезіндегі жұтылу жолағы және  $582\text{ см}^{-1}$  кезіндегі иық  $\text{SO}_4^{2-}$  - ионының деформациялық тербелістеріне,  $930\text{ см}^{-1}$ ,  $982\text{ см}^{-1}$  кезіндегі жолақтары оның валенттік тербелістеріне жатқызылады.

Мыс сульфатының жұтылу спектрінде (2-сурет)  $1007\text{ см}^{-1}$  аймағында мыс кешенімен сыртқы сфералық байланыс түзуге дәлел болатын, бос сульфат ионына сәйкес келетін бір ғана жолақ бар.

Алюминиймыс кешенінің ИҚ-спектрінің алюминий және мыс сульфаттарының спектрлерінен айырмашылығы бар екені байқалды.

Алюминиймыс кешенінің спектрінде (3-сурет)  $1000\text{ см}^{-1}$ -ден  $1200\text{ см}^{-1}$  дейінгі аймақтарда  $1000\text{ см}^{-1}$ ,  $1040\text{ см}^{-1}$ ,  $1100\text{ см}^{-1}$ ,  $1175\text{ см}^{-1}$  жиіліктер кезінде төрт жұтылу жолақтары бар. Кешен құрылысындағы мұндай жатқызулар сульфат-ион көпіршелі немесе циклді күйде болатынын көрсетеді. Жұтылу жолақтарының таралу сипатына қарап, ішкі координациялық сфераға сульфатотоптың кіретіндігі туралы қорытынды жасауға болады.

Алюминиймыс кешенінің ИҚ-спектрінде (3-сурет) су молекуласының валенттік және деформациялық тербеліс жолақтары қатысады. Су молекуласының  $\delta(\text{НОН})$  деформацияланған тербелісі  $1674\text{ см}^{-1}$  кезінде сезіледі. Кешен құрылысында металл атомдарына коор-

динацияланған су молекулаларының және кристалданған судың болуы су молекуласының ОН-байланыстарының валенттік тербеліс жиілігі аймағында көрінеді:  $3100\text{ см}^{-1}$ -ден,  $3400\text{ см}^{-1}$ -не дейінгі жұтылу жолақтары судың алюминийге және мысқа координацияланған ОН-байланысты валентті тербелістеріне сәйкес келеді.

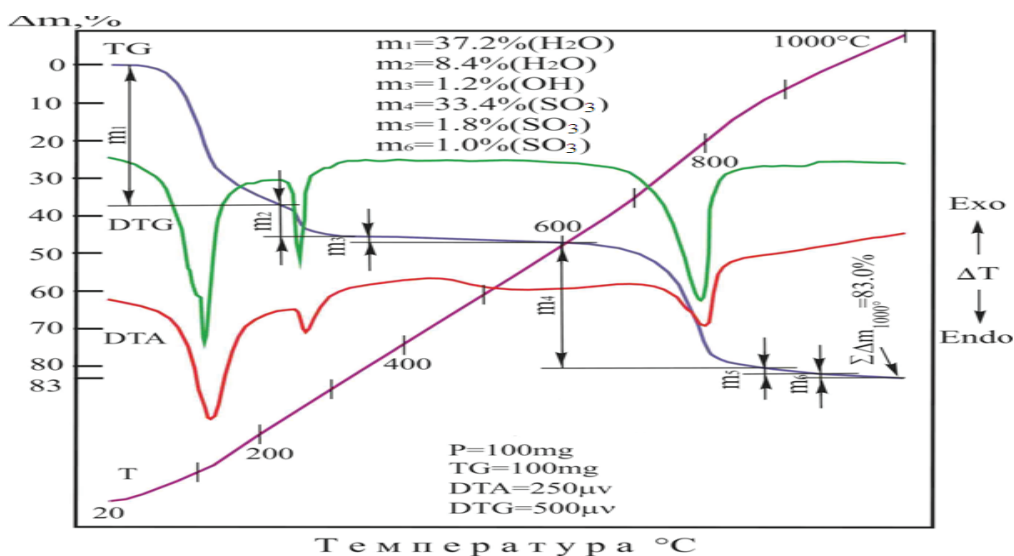
Сонымен, алынған гетерополиядролы алюминиймыс кешенін ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу гетерополиядролы кешендер түзілуі кезінде алюминий және мыс атомдары арасында көпірше ролін гидроксилдік топтар және су молекулалары атқаратынын дәлелдейді.

**Термогравиметриялық талдау әдісі.**

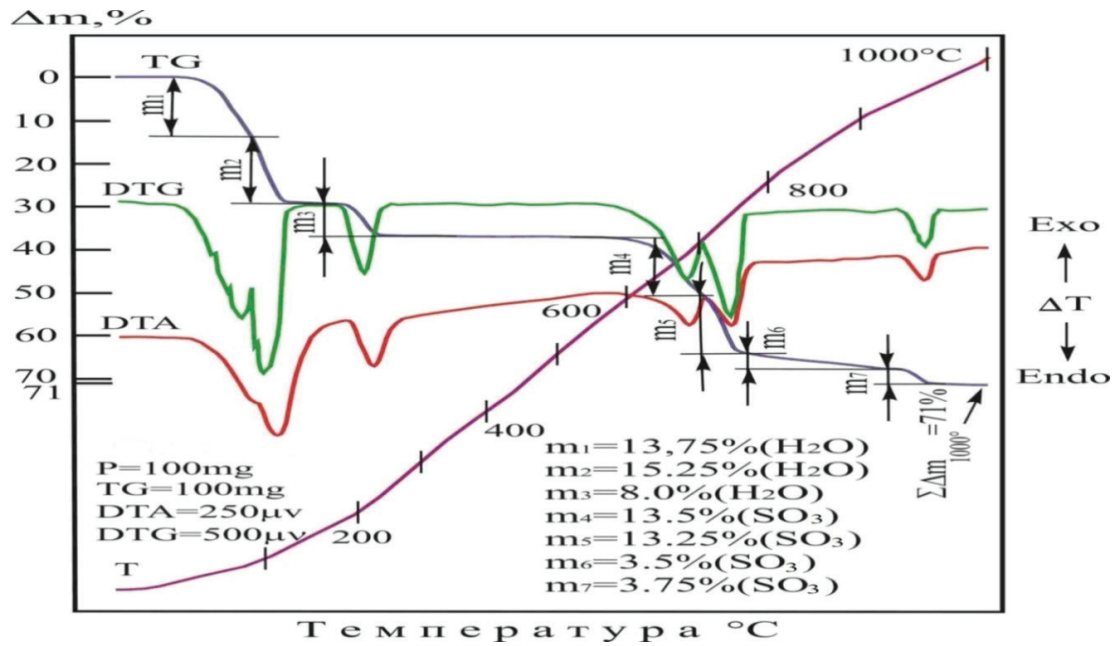
Температуралық сипаттамаларды кәдімгі термопармен қатар дифференциалды-термиялық талдау деп аталатын дифференциал қолданылатын термиялық талдау әдісімен зерттеу маңызды.

Термиялық талдау Ф. Паулик, И. Паулик, Л. Эрдей Q-1000/D жүйелі дериватографында бір мезгілде төрт қыздыру қисығы ДТА, ТГ, ДТГ, Т жазып алу арқылы жасалды.

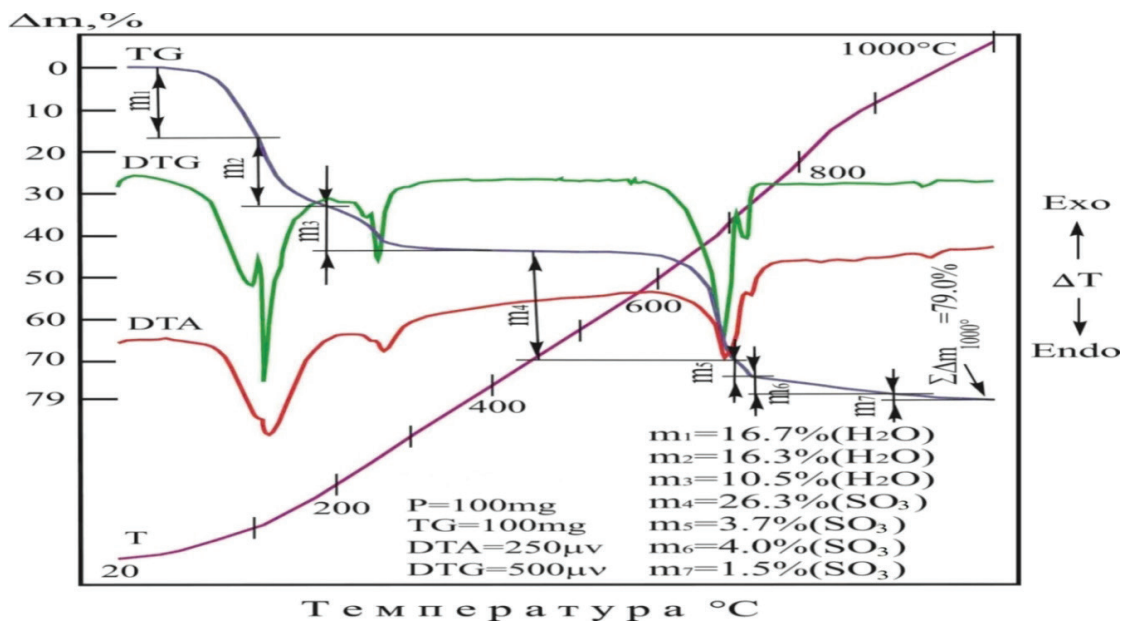
Жүргізілген дериватографиялық талдау нәтижелері ИҚ-спектроскопия мәліметтерін дәлелдейді. Алюминий сульфаты, мыс сульфаты және гетерополиядролы алюминиймыс кешенінің дериватограммалары 4, 5, 6 - суреттерде келтірілген.



4-сурет. Алюминий сульфатының дериватограммасы



5-сурет. Мыс сульфатының дериватограммасы



6-сурет. Алюминиймыс кешенінің дериватограммасы

Дериватограмм талдауына кірісерде жалпы барлық зерттелінетін қосылыстар үшін ДТА және ДТГ қисықтарында үш топ эндотермиялық эффекттері байқалады. Бірақ, алу әдістерінің ерекшеліктеріне байланысты қосылыстарда температура интервалында айырмашылық көрінеді.

Алюминий сульфатының дифференциалды термиялық талдау қисығы (4-сурет) судың бөлінуіне сәйкес келетін екі эндотермиялық эффектіден тұрады [11].

Бірінші эндоэффект ( $120^{\circ}\text{C}$ ) нәтижесінде  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  біртіндеп сусызданып құрамы 5,5 молекула су кристаллогидратына өтеді. Екінші эндотермиялық эффект ( $270^{\circ}\text{C}$ ) нәтижесінде ол сусыз тұзға  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , ал үшінші эндоэффект ( $800^{\circ}\text{C}$ ) нәтижесінде  $\text{Al}_2\text{O}_3$  айналады.

Мыс сульфаты кристаллогидратын  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   $20^{\circ}\text{C}$ -ден  $1000^{\circ}\text{C}$ -ге дейін динамикалық қыздыру кезінде (5-сурет) осы заттың деструкциясымен байланысты термиялық эффект

тер сериясын береді. Жүйенің ыдырауы бірнеше сатыда жүреді. Мыс гидросульфаты 60-230°C аралығында дегидратацияның үш сатысын береді. Өнімнің десульфатизациялануы жоғары температураларда ~ 600-700, 700-770, 770-930 және 930-960°C аралықтарында іске асады.

Ордината осі – массаның кемуі (мг), абсцисса осі – температура (°C). Қисықтардың белгіленуі: TG-массаның өзгеруін тіркейтін термогравиметрия; DTG-массаның өзгеру жылдамдығын сипаттайтын дифференциалды термогравиметрия; DTA-зерттелетін үлгінің энтальпия өзгерісін көрсететін дифференциалды термиялық талдау; T-температура, температураның уақытқа байланысты өзгеруін көрсетеді.

Гетерополиядролы алюминиймыс кешенінің термиялық ыдырау жүрісінің өзіндік ерекшелігі бар және оның дериватограммаларының бастапқы компоненттердің дериватограммаларынан ерекшелінеді. Бұл гетерополиядролы алюминиймыс кешендерінің өзіндік дербес зат екендігін дәлелдейді.

Алюминиймыс кешенінің термолизі дегидратация және күкірттің (VI) оксидінің ыдырауымен жүретін айқын эндотермиялық эффектілерімен анықтайды. Сонымен қатар жүйенің термиялық түзілуінің әрбір актісі кешеннің ыдырау зоналарында үлгі салмағының жоғалуы ( $m_1, m_2, \dots, m_n$ ) құрылымының термогравиметриялық көрсеткіштерімен сандық түрде бақыланады.

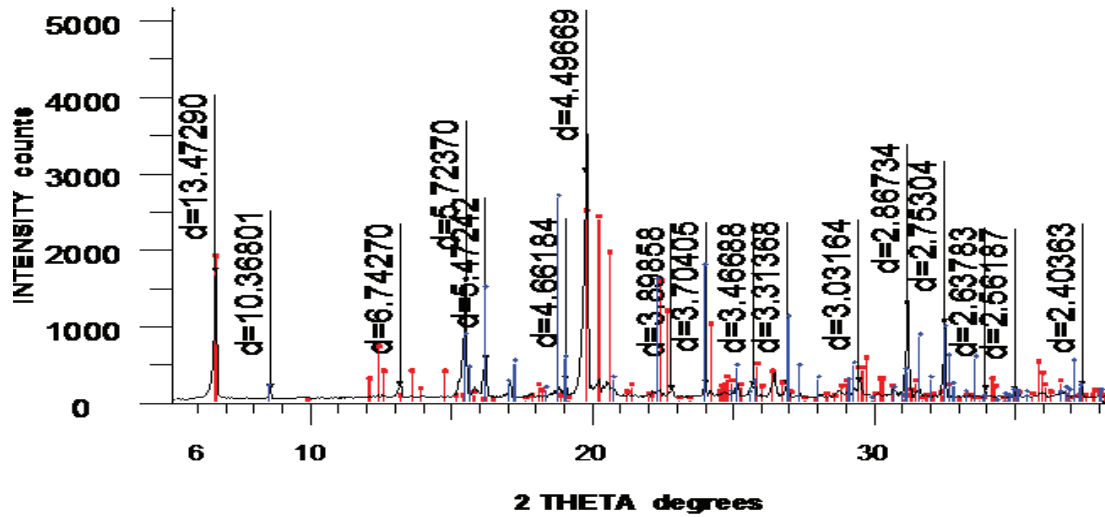
Алюминиймыс кешенінің термиялық ыдырауы температураның барлық диапазонында сатыланып жүреді. Алғашқы 30-180°C температура аралығында екі сатыда жүретін, кешеннің дегидратациялануымен байланысты екі интенсивті эндотермиялық эффект байқалады. Бұл кездегі термогравиметрия (TG) қисығында көрсетілгендей бөлінген кристалданған судың массасы 33% ( $m_1=16.7\%$  және  $m_2=16.3\%$ ) құрайды. 190-350°C температура аралығында координацияланған су массасының жоғалу деңгейі байқалады. Термогравиметрия қисығында белгіленгендей координацияланған судың массасы 10.5%

құрайды. Оған DTA және DTG қисықтарындағы төбешіктің (270°C) дәлел бола алады. 500-900°C температуралық диапазонында кешенді қосылыстың кинетикалық ыдырауы атмосфераға күкірттің (VI) оксидінің бөлінуіне байланысты эндотермиялық реакция қатарының жүруімен күрделенеді. Бұл кезде күкірттің (VI) оксидінің үлкен массасы 35.5% ( $m_4=26.3\%$ ,  $m_5=3.7\%$ ,  $m_6=4.0\%$ ,  $m_7=1.5\%$ ) жоғалады. 1000°C-ге дейін қыздыру кезінде массаның жалпы жоғалтуы 79% құрайды. Алюминиймыс кешенінің термиялық ыдырауының соңғы өнімдері  $Al_2O_3$  және CuO оксидтері болып табылады. Гетерополиядролы алюминиймыс кешенінің термиялық ыдырауы дегидратация үрдісінің бірнеше сатыда жүретінін көрсетеді. Судың бөлінуінің көпсатылы болуы кешендердің құрамында сыртқы сфералық (кристалданған су), ішкі сфералық (координацияланған су) су молекулаларының, сонымен қатар көпіршелі гидроксильдік топтарға байланысты болады.

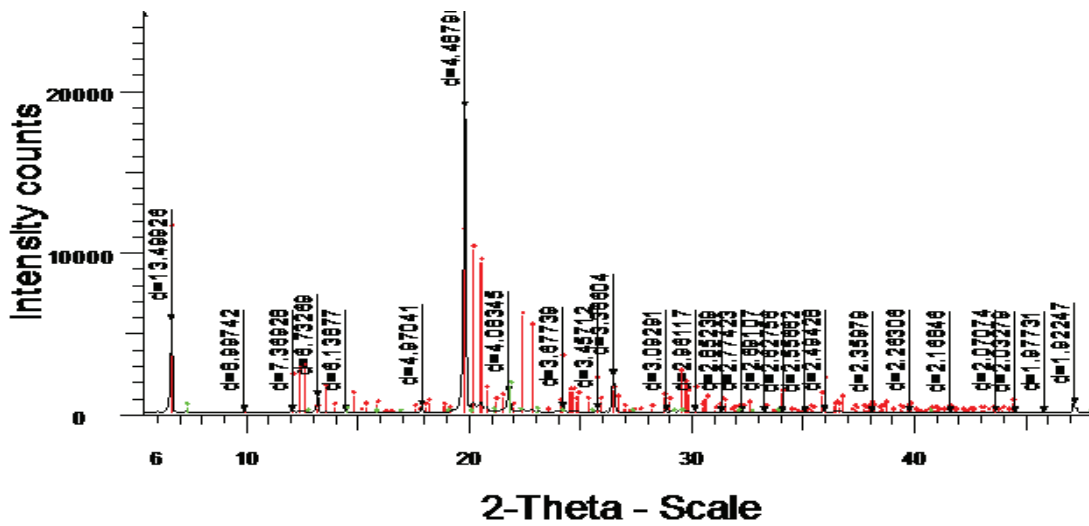
Сонымен алюминиймыс кешенінің құрылысын инфрақызыл спектроскопиялық және термиялық талдау әдістерімен зерттеу жұмыстарының нәтижесі алюминий мен мыс арасындағы байланыстар гидроксильдік топтар арқылы іске асатындығын және сонымен қатар сульфатотоптың қатысатындығын көрсетеді.

**Рентгенодифрактометриялық талдау әдісі.** Бастапқы заттар алюминий сульфатына, мыс сульфатына және алюминиймыс кешеніне рентгенодифрактометриялық зерттеулер жүргізілді.

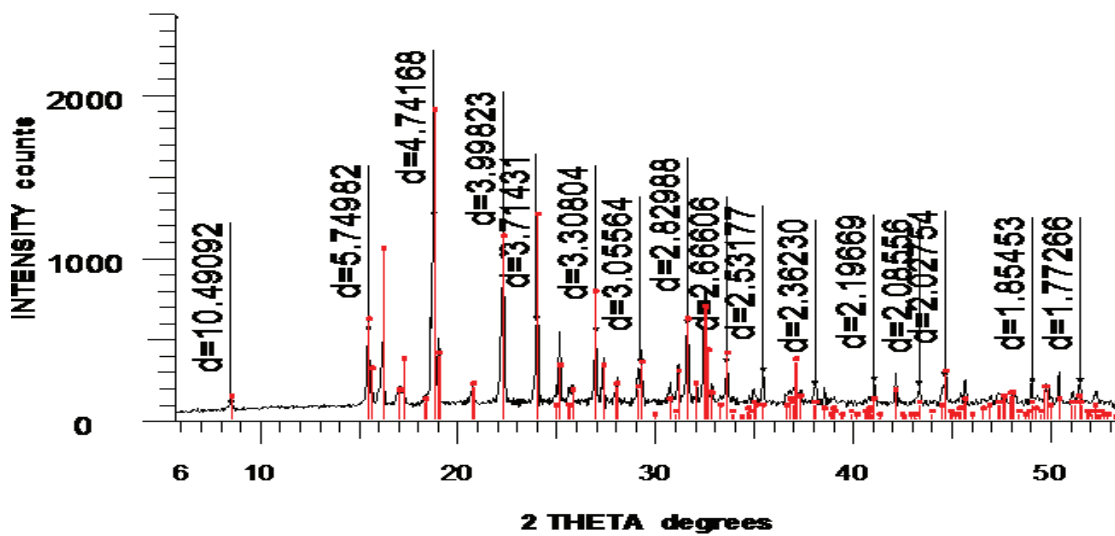
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  және АМК рентгенометриялық мәліметтері 2-кестеде келтірілген. АМК кешенінің жазықтықаралық арақашықтығын  $d$  және интенсивтілік  $I/I_0$  (қарқындылық) мәнін келесі мәндер сипаттайды (7-сурет): 13.47290 (56.7); 5.72370 (52.2); 5.47242 (18.3); 4.49669 (100.0); 2.86734 (42.2); 2.75304 (34.3).  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  үшін  $d$  және  $I/I_0$  мәндері келесі (8-сурет): 13.49926 (30.5); 6.73269 (5.8); 4.48799 (100.0); 4.08345 (7); 3.67739 (2); 3.36604 (12.6).



7-сурет. Алюминиймыс кешенінің дифрактограммасы



8-сурет. Алюминий сульфатының ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) дифрактограммасы



9-сурет. Мыс сульфатының ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) дифрактограммасы

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  үшін  $d$  және  $I/I_0$  мәндері келесі: 5.74982 (43.6); 4.74168 (100); 3.99823 (79.4); 3.71431 (48.9); 3.30804 (43.4); 2.82988 (47.3) (9-сурет). АМК рентгенометриялық мәліметтерінің бастапқы алюминий және мыс сульфаттарының жазықтық аралық арақашықтығы мен интенсивтілік мәндерінің мәліметтерінен айырмашылықтары байқалды. Бұл гетерополиядролы алюминиймыс кешенінің дербес екендігін дәлелдейді [12].

**1 кесте –  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{CuSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  жүйесінің қосылыстары үшін жазықтық аралық арақашықтықтар  $d$  мен интенсивтіліктер  $J / J_0$  жиынтығы**

№	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$		$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5.5\text{CuSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (АМК)	
	$d, \text{A}^\circ$	$J / J_0$	$d, \text{A}^\circ$	$J / J_0$	$d, \text{A}^\circ$	$J / J_0$
1	2	3	4	5	6	7
1	13.49926	30.5	10.49092	95.1	13.47290	56.7
2	7.36928	1	5.74982	43.6	10.36801	6.1
3	6.73269	5.8	5.49853	38.7	6.74270	7.1
4	6.52479	0.7	5.21782	16.8	5.72370	52.2
5	6.13877	1.0	4.74168	100.0	5.47242	18.3
6	4.97041	2.7	4.65742	24.5	5.20325	9.2
7	4.48796	100.0	4.28802	17.1	4.66184	9.6
8	4.33438	4.1	3.99823	79.4	4.49669	100.0
9	4.08345	7.0	3.71431	48.9	4.38885	9.9
10	3.96860	1.6	3.54589	43.6	3.89858	5.6
11	3.90391	1.4	3.46801	14.8	3.70405	7.9
12	3.67739	2.0	3.30804	43.4	3.54341	7.7
13	3.36604	12.6	3.26405	27.1	3.46688	7.5
14	3.02577	1.6	3.18421	20.0	3.37026	12.4
15	2.49428	1.0	3.05564	28.2	3.31368	7.7
16	1.92247	3.3	2.90971	18.2	3.10164	5.4
17	1.68290	1.7	2.87157	27.9	3.03164	8.8
18			2.82988	47.3	2.86734	42.2
19			2.79065	16.1	2.75304	34.3
20			2.75424	64.3	2.63783	5.5
21			2.72552	18.2	2.56187	4.9
22			2.66606	28.1	2.40363	7.4
23			2.56274	15.5	2.08606	5.8
24			2.53177	23.8	1.91466	7.6
25			2.44679	13.8	1.81965	5.2
26			2.42314	18.5	1.66936	3.9
27			2.36230	17.0	1.61828	6.0
28			2.19669	19.3	1.55472	4.3
29			2.08556	17.1	1.52306	9.5
30			2.02754	21.5		
31			1.98328	19.9		
32			1.93381	11.9		
33			1.88898	12.8		
34			1.85453	18.3		
35			1.77266	18.4		

### Қорытынды

Қорыта келе жұмыста алғаш рет изотермиялық ерігіштігі әдісімен алғашқы рет  $25^{\circ}\text{C}$ -де алюминий, мыс сульфаттары және судың өзара әрекеттесуі зерттелінді. Гетерополиядролы алюминиймыс кешенінің ерітіндідегі түзілу аймағы эксперимент жүзінде айқындалды. Алюминиймыс кешенінің құрамы, қасиеті

химиялық, ИҚ-спектроскопиялық, термогравиметриялық және рентгеноқұрылымдық талдау әдістерімен анықталды, олардың дербестігі дәлелденді. Алынған гетерополиядролы алюминиймыс кешенінің илегіштік қасиеті қарастырылды.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Сочеванова М. Ускоренный анализ осадочных горных пород с применением комплексометрии. – Москва 1969. – 81-83 с.
2. Книпович Ю.Н., Морачевского Ю.В. Анализ минерального сырья. – Л.: 1959. – 463 с.
3. Алексеев В.Н. Количественный анализ. – М., Химия, 1972. – 504 с.
4. Гиллербранд В.Ф., Лендель Г.А., Брайг Г.А., Гофман Д.И. Практическое руководство по неорганическому анализу. Под ред. проф. Ю.Ю. Лурье. – М., 1960. – 832 с.
5. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. – М.: ИЛ, 1963.
6. Коттон Ф. Современная химия координационных соединений. – М.: ИЛ, – 1963. – 360 с.
7. Большаков Г.Ф., Глебовская Е.А., Каплан З.Г. Инфракрасные спектры и рентгенограммы гетероорганических соединений. – М.: Химия, 1967. – 9 с.
8. Накамато К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. – М.: «Мир», 1991. – 535 с.
9. Чекмарев А.М., Ягодин Г.А., Харлабус Л.П., Кодин С.Г. К вопросу о строении комплексного тетрагидрата дисульфата циркония. Исследования ИК спектров. // Координационная химия. – 1977. – 2. – С. 211-215.
10. ИК-спектроскопия в неорганической технологии // Зинюк Р.Ю., Балыков А.Г., Гавриленко И.Б. и др. – Л.: Химия, 1983. – 160 с.
11. Бозаджиев Л., Попова Е. Термический анализ синтетического 18-водного сульфата алюминия // Год. вуз. Техн. физ. – 1983. – №1. – С.177-184.
12. Кожажулов О.К. Применение комплексных минеральных дубителей на основе соединений алюминия, титана и хрома в производстве кож для низа обуви.: Дис. ... канд. техн. наук. – Тараз, 1998. – 146 с.

УДК 665.71  
МРНТИ 31.21.19

## ГИДРИРОВАНИЕ ПОЛИ- $\alpha$ -ОЛЕФИНОВЫХ МАСЕЛ НА НАНЕСЕННЫХ ПАЛЛАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

К. ТОШТАЙ<sup>1</sup>, С.К. ТОКТАСЫНОВ<sup>1</sup>, Е.А. АУБАКИРОВ<sup>2</sup>, Р.С. БАШИРБАЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Научно-технологический парк

**Аннотация:** Для получения носителя для катализатора гидрирования поли- $\alpha$ -олефинового масла исходный диатомит до нанесения активной металлической фазы подвергался термической и кислотной обработке раствором соляной кислоты. Строение поверхности и морфологические изменения диатомита охарактеризованы с применением методов сканирующей электронной микроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа и БЭТ.

1,0% Pd/D-HCl-500 катализатор был приготовлен методом адсорбции. Средний размер частиц палладия на носителе определен с использованием просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. Каталитическая активность катализаторов изучена в реакции гидрирования поли- $\alpha$ -олефиновых масел при температуре 120°C и давлении водорода 1,0 МПа периодического действия Parr-4848.

**Ключевые слова:** гидрогенизация, Pd/диатомит катализатор, активность, поли- $\alpha$ -олефиновые масла

## HYDROGENATION OF POLY- $\alpha$ -OLEFINS ON SUPPORTED PALLADIUM CATALYSTS

**Abstract:** In the present work, before metal loading, the raw diatomite was modified by thermal treatment and acid activation with hydrochloric solution, to obtain the catalyst support suitable for use in hydrogenation of vegetable oils. Changes in surface structure and morphology of diatomite samples has been characterized by scanning electron microscopy, X-ray fluorescence, and nitrogen adsorption (BET). 1.0% Pd/D-HCl-500 catalysts with 1.0wt.% Pd content supported on activated diatomite were prepared by an adsorption method, average size of palladium particles were determined by high resolution transmission electron microscopy. The activities of the catalyst was tested for poly- $\alpha$ -olefins hydrogenation reaction in a batch reactor (Parr-4848) operated under 1.0MPa pressure and at reaction temperature 90°C.

**Keywords:** hydrogenation, Pd/diatomite catalyst, activity, poly- $\alpha$ -olefins

## ТАСЫМАЛДАҒЫШҚА ОТЫРҒЫЗЫЛҒАН ПАЛЛАДИЙ КАТАЛИЗАТОРЫМЕН ПОЛИ- $\alpha$ -ОЛЕФИН МАЙЫН ГИДРЛЕУ

**Аңдатпа:** Осы жұмыста, поли- $\alpha$ -олефин майын гидрлеуге тиімді катализатор тасымалдағышын алу үшін, металды тасымалдағышқа отырғызудан бұрын, бастапқы диатомит термиялық және тұз қышқылы ерітіндісімен өңделінді. Диатомит үлгілерінің беттік құрылымы және морфологиясындағы өзгерістер сканерлеуші электрондық микроскопия, рентгендік флуоресценция, азот адсорбциялық (БЭТ) әдістерімен сипатталды. Активтендірілген диатомитке адсорбциялық әдіс арқылы 1,0 мас.% Pd/ D-HCl-500 катализаторы дайындалып, тасымалдағыштағы палладий бөлшектерінің орташа размерлері жоғары дәлдіктегі трансмиссионды электрондық микроскопия көмегімен анықталды. Жасалынған катализатордың активтілігі поли- $\alpha$ -олефин майын гидрлеу реакциясында 1,0 МПа сутегі қысымы және 120°C температурада, Parr-4848 маркалы периодтық реакторда сыналды.

**Түйінді сөздер:** гидрлеу, Pd/диатомит катализаторы, активтілік, поли- $\alpha$ -олефин майы

## Введение

Научно-технический прогресс в машиностроении, ведущий к ужесточению условий эксплуатации оборудования, к созданию приборов, требует высокую эксплуатационную характеристику смазочных материалов, которую невозможно достигнуть при использовании смазок на минеральной основе. Стремление к сбережению энергии и экономии топлива активизировало применение масел синтетического происхождения и внесения в их состав смазочные материалы, тем самым, продлевая сроки службы оборудования и улучшая экологию окружающей среды. Поэтому возникает необходимость более радикального вмешательства в состав основы, используя синтетические и минерально-синтетические базовые масла.

В связи с отсутствием гетероатомных соединений, доступности сырья и относительно низкой цены конечного продукта, в последние годы наиболее используемыми являются поли- $\alpha$ -олефиновые синтетические масла (ПАОМ). Ранее научные исследования данных синтетических масел показали, что ПАОМ характеризуются отличными эксплуатационными свойствами как при высоких, так и при низких температурах, остаются стабильными в течение длительного времени, имеют низкую токсичность и слабую зависимость вязкости от температуры, коррозионно неактивны.

В развитых зарубежных странах текущая ежегодная выработка ПАОМ превышает сотню тысяч тонн и имеет склонность к дальнейшему развитию. Интенсивное развитие производства ПАОМ связано с тем, что применение масел на их основе (в том числе и полусинтетических в смеси с минеральными маслами) обеспечивает надёжную работу современных машин в любых погодных условиях, продлевает срок службы масел и оборудования, существенную экономию топливно-энергетических затрат, сокращение расходов на регенерацию и утилизацию отработанных масел. А также обладая хорошими низкотемпературными, пусковыми свойствами (до - 40-50°C) и термоокислительной стабильностью

практически на уровне синтетических эфирных масел, ПАОМ сохраняют все преимущества минеральных масел (например, инертность по отношению к конструкционным материалам, низкую токсичность и т.д.). За счёт высокой термоокислительной стабильности ПАОМ имеется возможность значительно увеличить ресурс работы синтетических углеводородных масел в сравнении с минеральными маслами.

В настоящее время в производстве ПАОМ (ПАОМ-2, ПАОМ-4, ПАОМ-6, ПАОМ-10, ПАОМ-12), в большинстве случаев широко используются дисперсные Ni –катализаторы. Процесс гидрирования на никелевых катализаторах проходит при высоких температурах (120-180°C) и при высоком давлении (10-20 МПа), многие исследователи для улучшения активности процесса гидрирования синтетических и минерально-синтетических базовых масел в качестве катализатора использовали разные металлы, в основном благородные (Pd, Ru, Pt, Rh, Ir) [1-6]. Использование палладиевых катализаторов в процессе гидрирования ПАОМ позволяет провести процесс гидрирования в мягких условиях, также катализатор показывает более высокую активность.

Авторами были проведены исследования, в процессе гидрирования ПАОМ-4 (АО «ТА-НЕКО», г. Нижнекамск, Республика Татарстан, Россия) были использованы палладиевые катализаторы (1,0 мас.% Pd), нанесенные на активированный диатомит. Были определены активность катализатора, йодное число, а также степень гидрирования полученных продуктов.

## Экспериментальная часть

*Приготовление носителя катализатора.* В качестве носителя катализатора для процесса гидрирования ПАОМ был выбран природный диатомит Актюбинского месторождения (Казахстан). Для достижения необходимых физико-химических характеристик природный диатомит подвергали химической и термической обработке. Была отработана методика предварительной об-

работки природного диатомита, которая включала следующие стадии: сушка диатомита, фракционирование и очистка высушенного диатомита от примесей. В качестве модифицирующего агента была выбрана соляная кислота. Подобраны оптимальные условия модифицирования: температура и время обработки, фильтрация и отмывка до достижения определенного значения pH. Модифицированные образцы подвергались повторному измельчению и фракционированию по размерам частиц.

Таким образом, были наработаны опытные партии модифицированных в разных условиях образцов диатомита с целью изучения их химического состава и физико-механических характеристик. Для использования природного диатомита (Д) в качестве носителя в первую очередь провели термообработку при 500°C (Д-500) в течение 4 часов, затем обрабатывали 0,5 н раствором соляной кислоты. Смесь непрерывно перемешивали при 90-100°C в течение 1-6 часов, и после охлаждения суспензию фильтровали. Полученный фильтрат промывали дистиллированной водой до нейтральной pH, сушили, затем измельчали, просеивали и отбирали необходимую фракцию (Д-НСI-500) [7].

*Методика приготовления катализатора.* Палладий наносили на активированный диатомит методом адсорбции из водного раствора  $H_2PdCl_4$  при постоянном перемешивании в течение 2 часов при комнатной температуре. После полной адсорбции палладия на носитель полученный катализатор промывали дистиллированной водой и сушили при температуре 120°C до постоянного веса. Концентрация активного компонента в готовых катализаторах (1,0%Pd/Д-НСI-500) составляла 1,0 мас.% [8].

*Физико-химические характеристики носителя и катализатора.* Элементный состав носителей исследовали методом рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) на спектрометре последовательного действия Axios Max производства компании PANalytical (Нидерланды). Максимальное напряжение на трубке 25 кВ, максимальный анодный ток -144 мА.

Текстурные характеристики (удельная поверхность, объем пор, распределение пор по размерам) носителя и катализаторов определяли методом физической адсорбции азота при 77К с использованием прибора ASAP 2020 (Micrometrics, США). Образцы предварительно дегазировали в вакууме при 300°C в течение 3 ч. Общую удельную поверхность рассчитывали с использованием метода БЭТ (метод Брунауэра, Эммета и Тейлора) [9].

Микроструктуру образцов изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном микроскопе Quanta 3D 200i Dual system, FEI при ускоряющем напряжении 15 кВ.

Исследование полученных образцов катализатора методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМ ВР) проводили на электронном микроскопе JEM-2010 («JEOL», Япония) с разрешением по решетке 0,14 нм, при ускоряющем напряжении 200 кВ.

ИК-спектры образцов сняты на спектрометре Perkin Elmer Spectrum 65 в диапазоне 400-4000  $cm^{-1}$  с шагом сканирования 4  $cm^{-1}$ . Спектры полученных образцов снимали в прессованных таблетках с KBr, которые готовили при соотношении 1 мг вещества на 200 мг KBr.

*Каталитическое гидрирование ПАОМ.* Каталитическое гидрирование проводилось в реакторе периодического действия марки Parr 4848 (Parr Instrument Co. Moline. IL. США) с рабочим объемом 100 мл, используя измерительную часть (рис.1) с кинетической установкой высокого давления. В реактор был загружен предварительно измельченный катализатор в количестве 0,6 г и 60 мл ПАОМ-4. После трёхкратной продувки реактора азотом, реакционная смесь нагревалась, и по достижении необходимой температуры вытеснялся азот из реактора водородом, включая перемешивания и начинался процесс гидрирования. После завершения процесса гидрирования катализатор отделялся от полученных образцов методом центрифугирования.

Скорость поглощения водорода в определенный промежуток времени рассчитывалась по формуле:



Рис. 1 – Принципиальная схема каталитической установки Parr 4848 для гидрирования под давлением

$$V = \frac{(V_k - V_n) \cdot K}{(t_k - t_n)} \quad V = \frac{\Delta V_o \cdot K}{\Delta t}$$

где  $V_n$  и  $V_k$  – начальное и конечное количество поглощенного водорода соответственно (мл);

$K$  – коэффициент, зависящий от давления в системе;

$t$  – промежуток времени, в которой рассчитывается скорость (мин).

Результаты сделанных экспериментов по гидрированию были оформлены в виде кривых в прямоугольной системе координат, где по оси абсцисс откладывался объем поглощенного водорода ( $V_o$ , см<sup>3</sup>), а по оси ординат – скорость поглощения водорода в минуту (см<sup>3</sup>/мин).

### Результаты и их обсуждение

Перед использованием глинистых пород минералов (диатомит, монтмориллонит, бентонит и др.) в качестве носителей катализаторов их предварительно целенаправленно подвергают термической и химической обработке, чтобы увеличить удельную поверхность и регулировать пористую структуру частиц [10-12]. В данной работе элементный состав природного, термо- и кислотного обработанного образцов диатомита определяли рентгенофлуоресцентным спектрофотометром. На основе значений элементного состава исследованных образцов определен их химический состав, и средняя процентная доля оксидов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав обработанных образцов диатомита в сравнении с исходным

Образцы диатомита	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO <sub>2</sub>
Д <sub>исх.</sub>	74,61	12,97	3,42	0,92	1,13	0,34	1,36	0,73	0,02
Д-500	78,12	12,52	4,16	0,92	1,14	0,34	1,32	0,75	0,02
Д- HCl-500	87,90	9,81	0,87	0,90	0,00	0,00	0,76	0,42	0,00

В данной работе были определены численные значения удельной поверхности, пористость образцов диатомита и приготовленных катализаторов методом БЭТ по ад-

сорбции-десорбции азота. В таблице 2 приведены показатели пористой структуры образцов носителей и катализатора.

**Таблица 2 – Характеристики пористой структуры носителей и палладиевого катализатора**

Образец	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	Средний диаметр пор, нм
Дисх	11,3	19,1
Д-500	16,7	19,1
Д-НСI-500	65,7	19,1
0,2%Pd/Д-НСI-500	50,0	19,0

Из таблицы 2 видно, рассчитанные по методу БЭТ удельная поверхность Д, Д-500 и Д-НСI-500 были равны 11,3, 16,7 и 65,9 м<sup>2</sup>/г соответственно. А рассчитанные по методу БДХ средние диаметры пор составляют 19,1 нм. Удельная поверхность палладиевого катализатора равна 50 м<sup>2</sup>/г. Средний диаметр пор приготовленного катализатора составляет 19 нм.

Активность 1.0% Pd/Д-НСI-500 катализатора определяли при гидрировании поли- $\alpha$ -олефиновые масла (ПАОМ-4) при 120°C и 1,0 МПа давлений водорода. Соотношение катализатора и масло были равны 1:100, скорость постоянного перемешивания 800 об/мин. На рисунке 2 представлены кинетические кривые гидрирования ПАОМ-4.

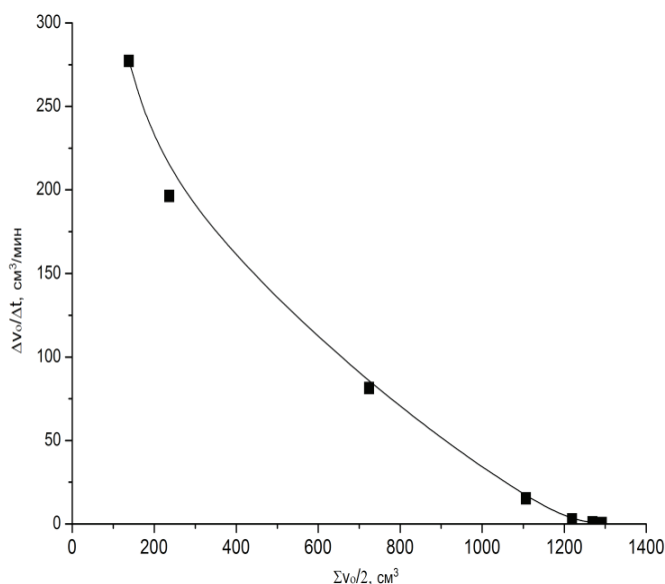
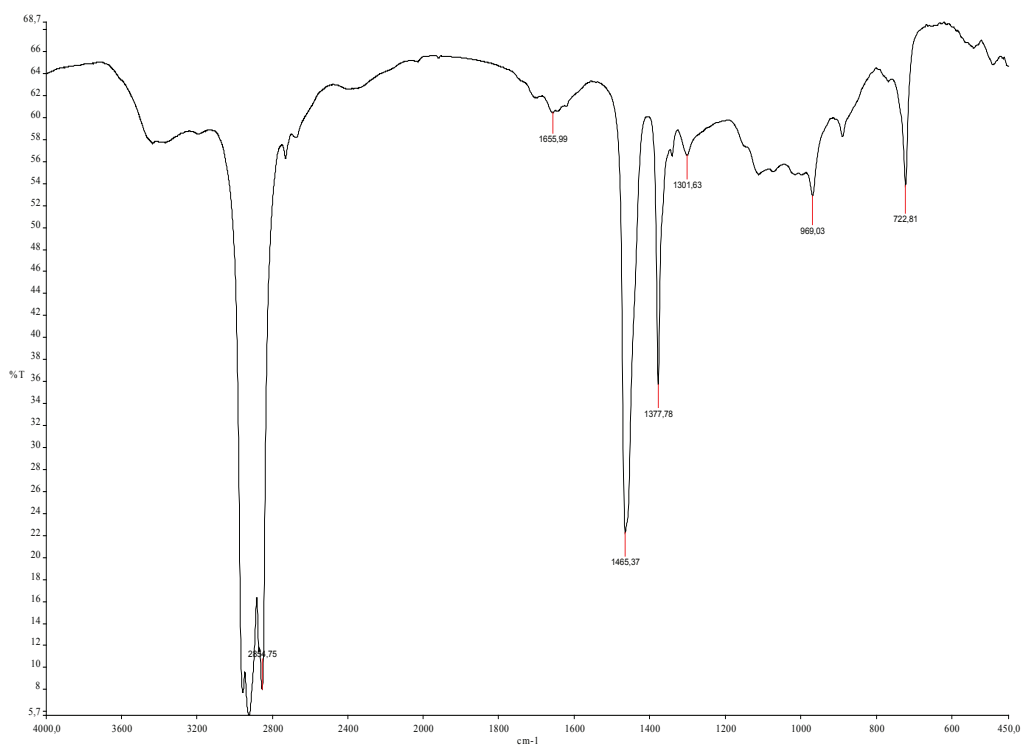


Рис. 2 – Кинетические кривые гидрирования ПАОМ-4 на 1,0% Pd/Д-НСI-500 катализаторе (Условия: соотношение ПАОМ-4 : катализатор = 1:100, температура 120°C, P<sub>H2</sub> -1,0 МПа)

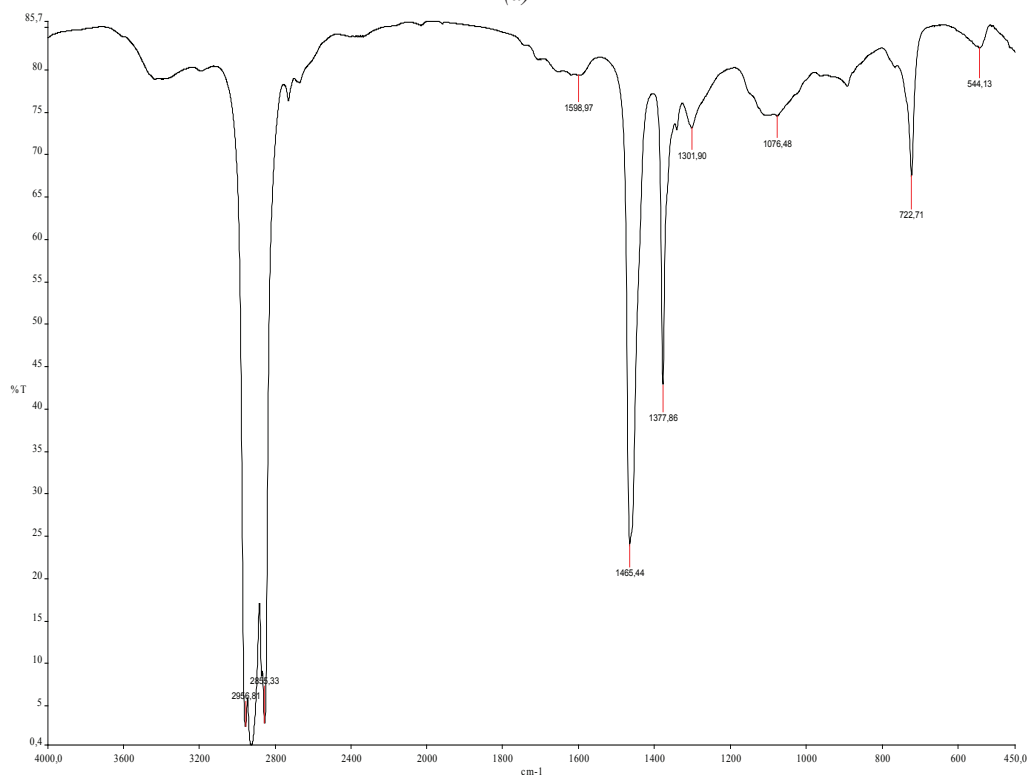
Полученные результаты по исследованию активности разработанных катализаторов в реакции гидрирования ПАОМ-4 показывают, что низкопроцентные палладиевые катализаторы (1,0 мас.% Pd), нанесенные на диатомит, проявляют высокую активность.

На рисунке 3 (а) и (б) приведены ИК-спектры образцов исходного и гидрированного ПАОМ-4 в диапазоне частот 400-4000 см<sup>-1</sup>.

Из рисунке 3 (а) видно, что в ИК-спектрах исходного ПАОМ-4 в области от 2800 до 1103 см<sup>-1</sup> и от 1300 до 1500 см<sup>-1</sup> наряду с интенсивными полосами поглощения, характеризующими колебания связи С-Н в функциональных группах -СН<sub>3</sub>- и -СН<sub>2</sub>-, а также показаны слабые полосы поглощения 969 см<sup>-1</sup> в функциональных группах =СН<sub>2</sub>-. Отметим, что данные ИК-спектра хорошо согласуются с данными работ [13].



(а)



(б)

Рис. 3 – ИК-спектры (а) исходного и (б) гидрированного ПАОМ-4

Из рисунка 3 (б) видно, что в ИК-спектре после гидрирования исходного ПАОМ-4 (5а) исчезают пики, характеризующие полосы поглощения валентных деформационных колебаний С-Н в функциональных группах

$=\text{CH}_2$  ( $915\text{cm}^{-1}$ ). Температура гидрирования от  $120^\circ\text{C}$  обеспечивает высокую степень гидрирования, равную 98,2% и йодное число 0,58 г  $\text{I}_2/100$  г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков О.Н. Каталитические процессы в технологии полиальфаолефиновых масел // Катализ в промышленности. – 2002. -№6. – С.33-40.
2. Цветков О. Н. Поли- $\alpha$ -олефиновые масла: химия, технология и применение. – М.: Техника, 2006.
3. Yadav G. D., Doshi N. S. Development of a green process for poly- $\alpha$ -olefin based lubricants // Green Chemistry. – 2002. – Т. 4. – №. 6. – С. 528-540.
4. Hope K. D., Driver M. S., Harris T. V. High viscosity polyalphaolefins prepared with ionic liquid catalyst : Patent. 6395948 USA. – 2002.
5. Zander L. et al. Processes for producing poly-alpha-olefins, and poly-alpha-olefins produced thereby : Patent. 7351871 USA. – 2008.
6. Wu M. M. et al. Process to produce low viscosity poly-alpha-olefins: Patent. 8207390 USA. – 2012.
7. Кудайберген Б., Ауезов А.Б., Тоштай К., Ералиева А.Т., Бижанов Ж.А., Токтасынов С.К. Очистка рапсового масла модифицированным диатомитом // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2015. – №1. – Б. 39-46.
8. Toshtay K., Auyezov A.B., Bizhanov Zh.A., Yeraliyeva A.T., Toktasinov S.K., Kudaibergen B., Nurakyshev A. Effect of Catalyst Preparation on the Selective Hydrogenation of Vegetable oil over low Percentage Pd/Diatomite Catalysts // Eurasian chemico-technological journal. – 2015. – №1 (17).– P. 33-39.
9. Sing K.S.W., Everett D.H., Haul R.A.W., Moscow L., Pierotti R.A., Siemieniewska T., Rouquerol J. Reporting physisorption data for gas/solid system with special reference to the determination of surface area and porosity // Journal of pure and applied chemistry. – 1985. – Vol.57. – P.603-619.
10. Achyut K.P., Mishra B.G., Mishra D.k., Singh R.K. Effect of sulphuric acid treatment on the physico-chemical characteristics of kaolin clay // Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects. – 2010. – Vol.363. – №. 1-3. – P.98-104.
11. Mahani H., Kazemeini M. Treatment of diatomaceous earth to obtain its catalyst support // Scientia Iranica.– 2003. – Vol.10. – P. 350–356.
12. Belver C., Munoz M.A.B., Vicente M.A. Chemical activation of a kaolinite under acid and alkaline condition // Chemistry of materials.–2002. –Vol. 14. –№. 5. –P. 2033-2043.
13. El-Gamal I. M., Gobiell S. Synthesis and evaluation of poly- $\alpha$ -olefins for improving the flow properties of gas oil //Journal of applied polymer science. – 1996. – Vol. 61. – №. 8. – P. 1265-1272.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 521.1  
МРНТИ 30.51.37

## СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ И ГЕОМЕТРИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ ВИДА 3-PRRS И 3-PRPS

**Ж.Ж. БАЙГУНЧЕКОВ, А.Қ. МУСТАФА, Р.А. КАЙЫРОВ, А.Н. КАСИНОВ**

*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби*

*Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева*

**Аннотация:** Параллельные манипуляторы с шестью степенями свободы и тремя ногами или триподы имеют большую рабочую зону и менее сложные сингулярные конфигурации по сравнению с параллельными манипуляторами с шестью степенями свободы и шестью ногами или гексаподами. В данной работе проведен структурный синтез и исследована геометрия параллельных манипуляторов-триподов вида 3-PRRS и 3-PRPS, где  $P$ ,  $R$ ,  $S$  – поступательная, вращательная и сферическая кинематические пары соответственно.

**Ключевые слова:** параллельный манипулятор, гексапод, трипод, геометрия, обратная кинематика, степень свободы, матрица преобразования, подвижная платформа, кинематическая пара

## STRUCTURAL SYNTHESIS AND GEOMETRY OF 3-PRRS AND 3-PRPS TYPE PARALLEL MANIPULATORS

**Abstract:** Parallel manipulators with six degrees of freedom and three limbs or tripods have a large workspace and less complex singular configurations compared to the parallel manipulators with six degrees of freedom and six limbs or hexapods. In this paper, structural synthesis and geometry of 3-PRRS and 3-PRPS tripod type parallel manipulators are considered, where  $P$ ,  $R$ ,  $S$  are prismatic, revolute and spherical kinematic pairs, respectively.

**Keywords:** Parallel manipulator, hexapod, tripod, geometry, inverse kinematic, degree of freedom, transformation matrix, mobile platform, kinematic pair

## 3-PRRS ЖӘНЕ 3-PRPS ЖӘНЕ ТҮРДЕГІ ПАРАЛЛЕЛЬ МАНИПУЛЯТОРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ГЕОМЕТРИЯСЫ

**Аңдатпа:** Алты еркіндік дәрежесі және үш аяғы бар немесе трипод параллель манипуляторлар алты еркіндік дәрежесі және алты аяғы бар немесе гексапод параллель манипуляторларға қарағанда үлкен жұмыс алаңы және қарапайым сингулярлық конфигурациясына ие. Берілген мақалада 3-PRRS және 3-PRPS түрдегі трипод параллель манипуляторлардың құрылымдық синтезі жүргізілген және олардың геометриясы қарастырылған, мұнда  $P$ ,  $R$ ,  $S$  – сәйкесінше ілгерілемелі, айналмалы және сфералық кинематикалық жұпттар.

**Түйінді сөздер:** Параллель манипулятор, гексапод, трипод, геометрия, кері кинематика, еркіндік дәрежесі, түрлендіру матрицасы, қозғалмалы платформа, кинематикалық жұп

### Введение

Параллельные манипуляторы по сравнению с серийными манипуляторами имеют большую грузоподъемность и высокую точность позиционирования, обладают большим быстродействием и благоприятными динамическими параметрами [1-3]. Широко известны параллельные манипуляторы вида гексапод с шестью степенями свободы, имеющие шесть ног, построенные на основе платформы Стюарта [4]. Параллельные манипуляторы с тремя ногами или триподы по сравнению с гексаподами имеют большую рабочую зону и

малую металлоемкость. Данная работа посвящена исследованию триподов вида 3-PRRS и 3-PRPS с шестью степенями свободы.

### 1. Структурный синтез

Согласно разработанному принципу формирования параллельных манипуляторов [5] рассматриваемые параллельные манипуляторы вида 3-PRRS и 3-PRPS сформированы соединением выходного объекта (подвижная платформа) со стойкой (неподвижная платформа) при помощи трех пассивных

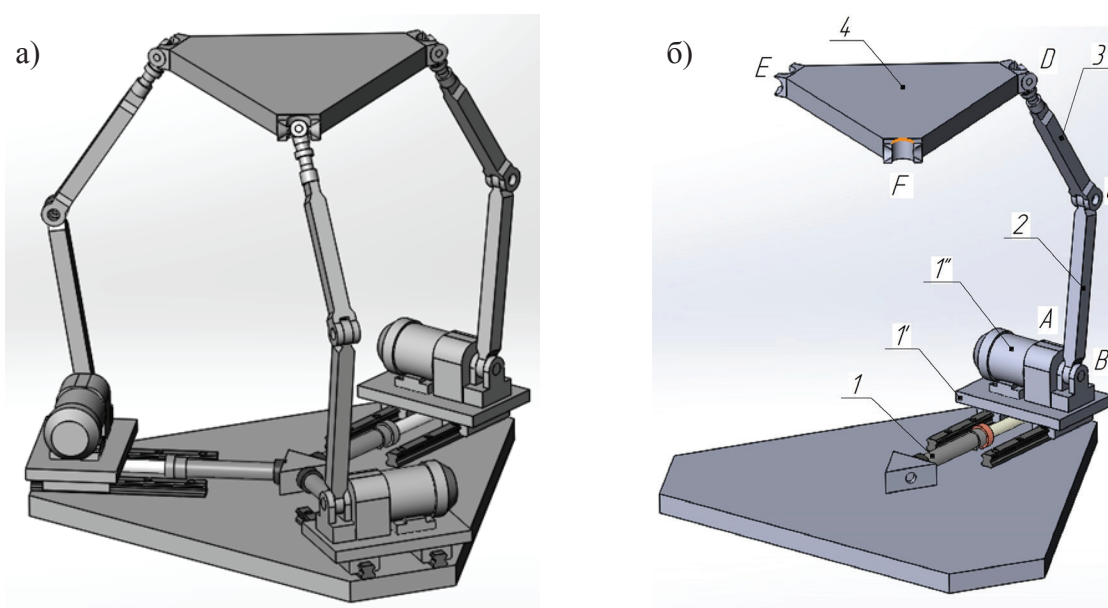


Рис. 1 – 3D-модель параллельного манипулятора вида 3-PRRS

замыкающих кинематических цепей (ЗКЦ) вида PRRS и PRPS. Поскольку пассивные ЗКЦ не накладывают геометрические связи на движение подвижной платформы, то ее шесть степеней свободы сохраняются. Для параллельного манипулятора вида 3-PRRS поступательная и первая вращательная кинематическая пара пассивной ЗКЦ вида PRRS являются входными, для параллельного манипулятора вида 3-PRPS две поступательные кинематические пары являются входными, относительные движения элементов которых определяются решением обратной задачи кинематики.

На рисунке 1а представлена 3D-модель трипода вида 3-PRRS, а на рисунке 1б – одна

из трех его идентичных ног, где поступательные движения трех входных поступательных кинематических пар вдоль направляющих, расположенных под углом  $120^{\circ}20'$  на неподвижной платформе 0, выполняются тремя гидроцилиндрами 1, а вращательные движения трех входных вращательных кинематических пар *B* осуществляются тремя сервоприводами  $1''1''$ , расположенными на каретках  $1'1'$ , и движущимися вместе со штоком гидроцилиндра. Три сферические кинематические пары *D*, расположенные на подвижной платформе 4, не ограничивают ее движения.

Аналогично на рисунке 2а и 2б представлена 3D-модель трипода вида 3-PRPS и его одной ноги *ABCD*.

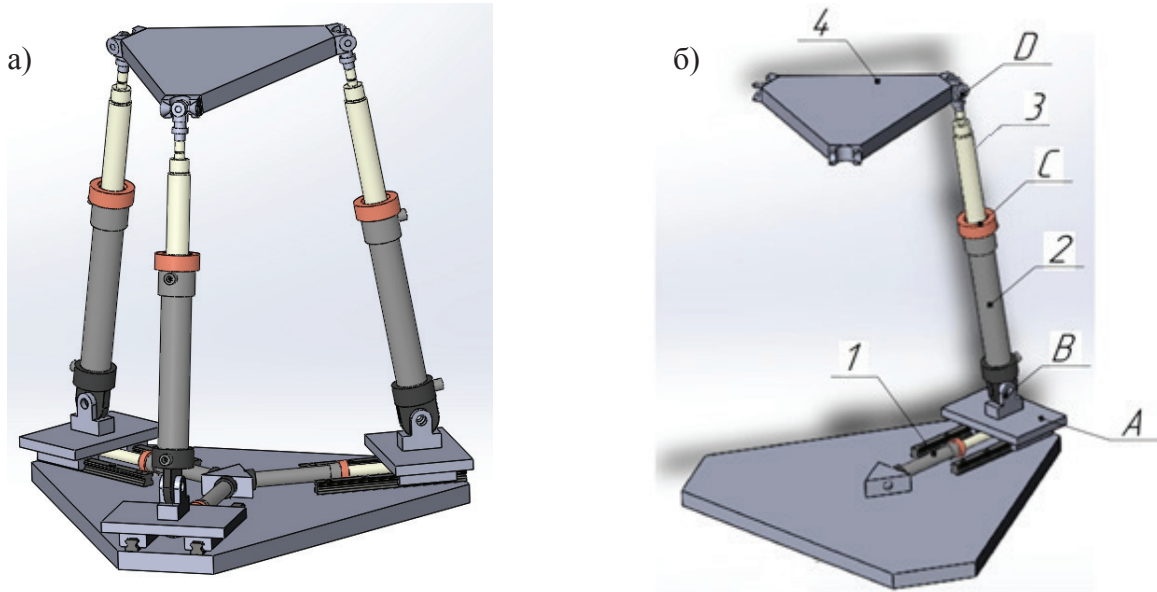


Рис. 2 – 3D-модель параллельного манипулятора вида 3-PRPS

## 2. Геометрия, постоянные и переменные параметры

Для описания геометрии и исследования кинематики и динамики рассматриваемых параллельных манипуляторов к каждому элементу кинематических пар жестко соединяются системы координат  $UVW$  и  $XYZ$ , у которых оси  $W$  и  $Z$  направлены по осям вращательного или поступательного движений элементов кинематических пар, а направления осей  $U$  и  $X$  совпадают с направлением общего перпендикуляра между осями  $W$  и  $Z$ , расположенными на концах бинарного звена.

Матрица преобразования между системами координат  $U_j V_j W_j U_j V_j W_j$  и  $X_k Y_k Z_k X_k Y_k Z_k$  (рис.3) имеет вид

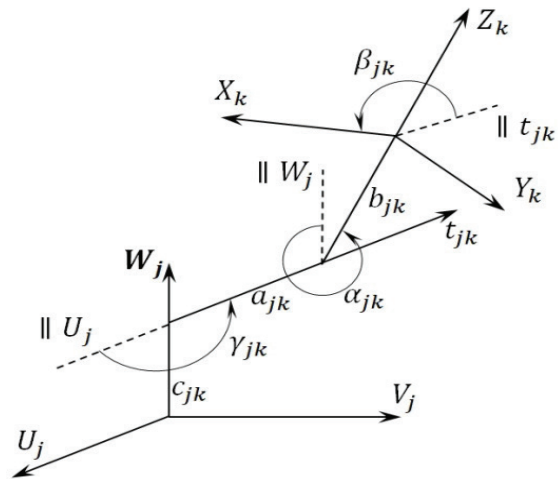


Рис. 3. Системы координат  $U_j V_j W_j$  и  $X_k Y_k Z_k$

где  $a_{jk}$  – расстояние между осями  $W_j$  и  $Z_k$ , измеренное по направлению общего перпендику-

$$T_{jk} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{jk} \cdot c\gamma_{jk} + & c\gamma_{jk} \cdot c\beta_{jk} - & -c\gamma_{jk} \cdot s\beta_{jk} - & \\ +b_{jk} \cdot s\gamma_{jk} \cdot s\alpha_{jk} & -s\gamma_{jk} \cdot c\alpha_{jk} \cdot s\beta_{jk} & -s\gamma_{jk} \cdot c\alpha_{jk} \cdot c\beta_{jk} & s\gamma_{jk} \cdot s\alpha_{jk} \\ a_{jk} \cdot s\gamma_{jk} - & s\gamma_{jk} \cdot c\beta_{jk} + & c\gamma_{jk} \cdot c\alpha_{jk} \cdot c\beta_{jk} - & \\ -b_{jk} \cdot c\gamma_{jk} \cdot s\alpha_{jk} & c\gamma_{jk} \cdot c\alpha_{jk} \cdot s\beta_{jk} & -s\gamma_{jk} \cdot s\beta_{jk} & -c\gamma_{jk} \cdot s\alpha_{jk} \\ c_{jk} + b_{jk} \cdot c\alpha_{jk} & s\alpha_{jk} \cdot s\beta_{jk} & s\alpha_{jk} \cdot c\beta_{jk} & c\alpha_{jk} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

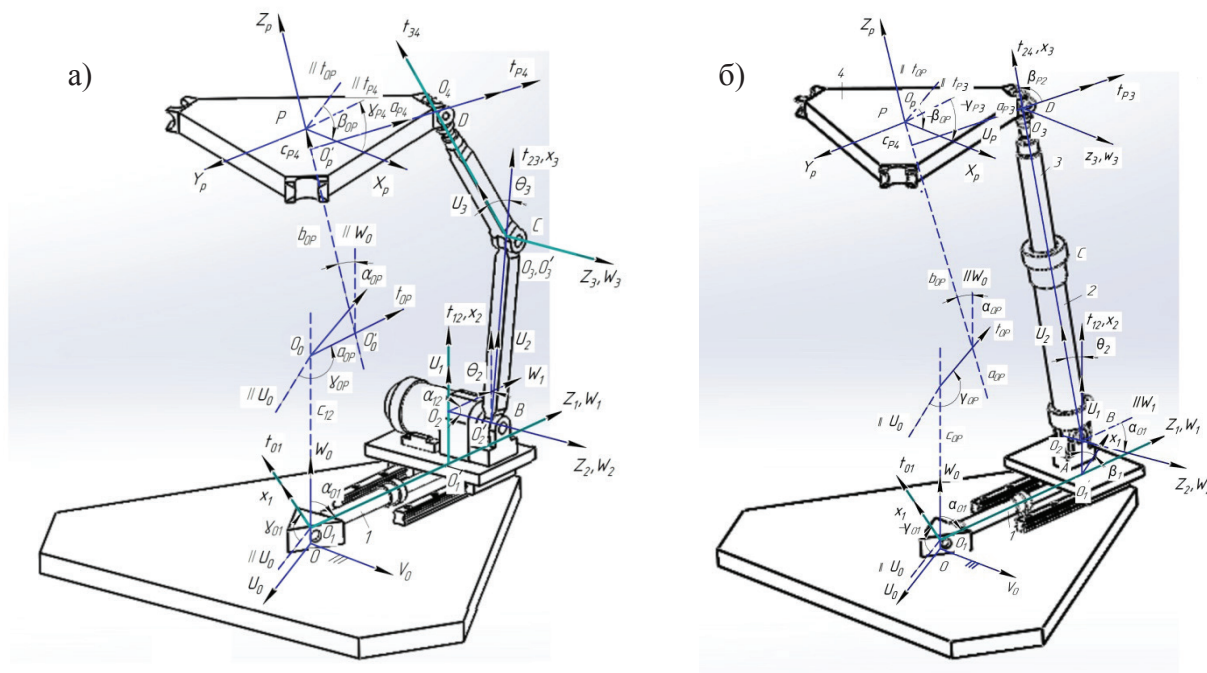


Рис. 4 – Параметры ног параллельных манипуляторов вида 3-PRRS и 3-PRPS

ляра  $t_{jk}$  между этими осями;  $\alpha_{jk}$  – угол между положительными направлениями осей  $W_j$  и  $Z_k$ , измеренный против хода часовой стрелки вокруг положительного направления  $t_{jk}$ ;  $b_{jk}$  – расстояние от направления  $t_{jk}$  до направления оси  $X_k$ , измеренное по положительному направлению оси  $Z_k$ ;  $\beta_{jk}$  – угол между положительными направлениями  $t_{jk}$  по оси  $X_k$ , измеренный против хода часовой стрелки вокруг положительного направления оси  $Z_k$ ;  $\tilde{n}_{jk}$  – расстояние от положительного направления оси  $U_j$  до направления  $t_{jk}$ , измеренное по положительному направлению оси  $W_j$ ;  $\gamma_{jk}$  – угол между положительными направлениями оси  $U_j$  и  $t_{jk}$ , измеренный против хода часовой стрелки вокруг положительного направления оси  $W_j$ .

На основе матрицы  $T_{jk}$  составляются матрицы бинарных звеньев и кинематических пар. Матрица преобразования  $G_{jk}$  между системами координат  $U_jV_jW_j$  и  $X_kY_kZ_k$ , жестко соединенных на концах бинарного звена, называется матрицей бинарного звена. Матрица бинарного звена  $G_{jk}$  содержит постоянные

параметры, характеризующие геометрию бинарного звена. Матрица преобразования  $P_j$  между системами координат  $U_jV_jW_j$  и  $X_jY_jZ_j$ , жестко соединенных с элементами  $j$ -ой кинематической пары, называется матрицей кинематических пар, которая содержит переменные параметры, характеризующие относительные движения элементов кинематических пар.

С неподвижной платформой рассматриваемых параллельных манипуляторов соединяем абсолютную систему координат  $OU_0V_0W_0$ , а с подвижной платформой – систему координат  $PX_PY_PZ_P$ , где начала этих систем координат расположены в геометрических центрах неподвижной и подвижной платформ, а оси  $W_0$  и  $Z_P$  направлены перпендикулярно к их плоскостям.

С каждым элементом кинематических пар жестко соединяем системы координат  $U_jV_jW_j$  и  $X_kY_kZ_k$ , где  $i, j = 1, 2, 3, 4$ . Здесь кинематические пары  $A, B, C, D$  обозначены цифрами 1, 2, 3, 4 соответственно. Как видно из рисунка 4а матрицы кинематических пар и бинарных звеньев для ноги параллельного манипулятора вида 3-PRRS имеют следующие элементы:  $G_{01} = G_{01}(0, \alpha_{01}, 0, 0, c_{01}, \gamma_{01})$ ,

$\mathbf{P}_1^P = \mathbf{P}_1^P(0, 0, 0, 0, c_1, 0)$ ,  $\mathbf{P}_2^R = \mathbf{P}_2^R(0, 0, 0, \beta_{22}, 0, 0)$ ,  
 $\mathbf{G}_{12} = \mathbf{T}_{12}(a_{12}, \alpha_{12}, b_{12}, \beta_{12}, 0, 0)$ ,  $\mathbf{G}_{23} = \mathbf{G}_{23}(a_{23}, 0, 0, 0, 0, 0)$ ,  
 $\mathbf{P}_3^R = \mathbf{P}_3^R(0, 0, 0, \beta_{33}, 0, 0)$ ,  $\mathbf{G}_{34} = \mathbf{G}_{34}(a_{34}, 0, 0, 0, 0, 0)$ ,  
 где  $\alpha_{01} = 90^0$ ,  $c_{01} = OO_1$ ,  $c_{11} = O_1O_1' = s_1$ ,  $a_{12} = O_1'O_2$ ,  
 $\alpha_{12} = -90^0$ ,  $b_{12} = O_2O_2'$ ,  $\beta_{12} = 90^0$ ,  $\beta_{22} = \theta_2$ ,  
 $a_{23} = O_2O_3$ ,  $\beta_{33} = \theta_3$ ,  $a_{34} = O_3'O_4$ . Из этих параметров  
 параметры  $\alpha_{01}, c_{01}, \gamma_{01}, a_{12}, \beta_{12}, a_{23}, a_{34}$  являются постоянными, которые характеризуют  
 геометрию звеньев, а параметры  $c_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$  являются переменными, которые характери-  
 зуют относительные движения элементов кинематических пар. Из этих переменных пара-  
 метров параметры  $a_{11} = s_1$  и  $\beta_{22} = \theta_2$  являются входными, а параметры  $\beta_{33} = \theta_3$  является вы-  
 ходными.

Матрицы кинематических пар и бинарных звеньев для ноги параллельного манипулятора вида 3-PRPS (рис.3б) имеют следующие элементы:  $\mathbf{G}_{01} = \mathbf{G}_{01}(0, \alpha_{01}, 0, 0, c_{01}, \gamma_{01})$ ,  
 $\mathbf{P}_1^P = \mathbf{P}_1^P(0, 0, 0, 0, c_{11}, 0)$ ,  $\mathbf{G}_{12} = \mathbf{T}_{12}(a_{12}, \alpha_{12}, 0, 0, 0, 0)$ ,  
 $\mathbf{P}_2^R = \mathbf{P}_2^R(0, 0, 0, 0, 0, \gamma_{22})$ ,  $\mathbf{P}_3^P = \mathbf{P}_3^P(a_{23}, 0, 0, 0, 0, 0)$ ,  
 где  $\alpha_{01} = 90^0$ ,  $c_{01} = OO_1$ ,  $c_{11} = O_1O_1' = s_1$ ,  $a_{12} = O_1'O_2$ ,  $\alpha_{12} =$   
 $= -90^0$ ,  $a_{23} = O_2O_3 = s_3$ . Из этих параметров параметры  $\alpha_{01}, c_{01}, \gamma_{01}, a_{12}, \beta_{12}$  являются посто-

янными, которые характеризуют геометрию звеньев, а параметры  $c_{11}, a_{23}, \gamma_{22}$  являются переменными, которые характеризуют относительные движения элементов кинематических пар. Из этих переменных параметров параметры  $c_{11} = s_1$ ,  $a_{23} = s_3$  являются входными, а параметр  $\gamma_{22} = \theta_2$  является выходным.

Остальные две ноги рассматриваемых параллельных манипуляторов имеют аналогичные параметры.

### Выводы

Параллельные манипуляторы вида 3-PRRS и 3-PRPS сформированы соединением подвижной платформы со стойкой (неподвижной платформой) при помощи трех пассивных ЗКЦ вида PRRS и PRPS. Эти пассивные ЗКЦ не накладывают геометрические связи на движение подвижной платформы и ее шесть степеней свободы сохраняются. Для описания геометрии к каждому элементу кинематических пар жестко соединены правые декартовы системы координат. На основе матриц преобразований этих систем координат формируются матрицы бинарных звеньев и кинематических пар, определяются постоянные и переменные параметры исследуемых параллельных манипуляторов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Merlet J-P. Parallel Robots. Kluwer, Dordrecht, 2000.
2. Tsai L.W. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. John Wiley & Sons, New York, 1999.
3. Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. Kluwer Academic Publisher, 2004.
4. Stewart D. A Platform with six Degrees-of-Freedom. Proc. Inst. Mech. Eng., Vol. 108, No. 15, 1965, pp.3771-386.
5. Baigunchekov Zh., et. al. Geometry and Direct Kinematics of Six-DoF Three-Limbed Parallel Manipulator. ROMANSY21-Robot Design, Dynamics and Control, Springer, 2016, pp.39-46.

УДК 681.51:004.896  
МРНТИ 55.30.03

## РАЗРАБОТКА ГУМАНОИДНОГО РОБОТА QAZROBO

Ж.Ж. БАЙГУНЧЕКОВ<sup>1</sup>, Б.О. АМАНОВ<sup>2</sup>, Д.А. ТУРГУНБОЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальная Академия наук Казахстана

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

**Аннотация:** В статье рассмотрены возможности создания гуманоидного робота для различного назначения с высокой степенью автономности и мобильности. Данный гуманоидный робот является мобильным и движется с помощью трех колес, которые оптимизированы к выполнению всевозможных маневров для надежной конфигурации при функционировании, также реализованы и анализированы перемещения частей «тела» для большой степени имитации движения человека. Используются доступные недорогие средства при конструировании, это способствует снижению себестоимости конечной продукции в целях доступности для всех слоев общества. Анализированы возможности создания алгоритма ведения человеко-машинного диалога гуманоидным роботом. Робот-гуманоид оснащен двумя камерами, многочисленными датчиками, позволяющими определить текущее местоположение в пространстве, получить пространственные данные в виде телеметрических данных и информацию о текущем состоянии пространства, таких как температура, атмосферное давление, наличие и концентрация вредных загрязняющих веществ в воздухе, уровень освещенности и т.д. В передней части робота установлен сенсорный Full HD экран с разрешением 1920x1080. Данный гуманоидный робот создается с целью обеспечения людей с ограниченными возможностями (ЛОВ) различными услугами как в быту, так и на работе. Данный робот-гуманоид также может быть использован для ряда других задач и целей в сфере обслуживания. Основная идея заключается в социализации человека с ограниченными возможностями путем трудоустройства робота. Будут разработаны модели для музеев и ресторанов. Человек может находиться дома и управлять роботом на большой дистанции. Для управления гуманоидным роботом достаточны будут базовые навыки управления в компьютерных играх. Робот может работать в качестве экскурсовода или официанта, тем самым обеспечивая человеку с ограниченными возможностями стабильные доходы. Сначала гуманоидный робот будет обучен ЛОВ проводить экскурсии и при необходимости навыкам управления другими роботами.

**Ключевые слова:** raspberry pi, двигатель, 3D моделирование, роботы, управление, робот-гуманоид, управление роботом, машинное обучение, искусственный интеллект, идентификация роботов

## DEVELOPMENT OF QAZROBO HUMANOID ROBOT

**Abstract:** The article discusses the possibility of creating a humanoid robot for various purposes, with a high degree of autonomy and mobility. This humanoid robot is mobile and moves with the help of three wheels that are optimized to perform all sorts of maneuvers for a reliable configuration in operation; movements of the “body” parts are also implemented and analyzed for a large degree of imitation of human movement. Affordable affordable means are used in the design, it helps to reduce the cost of final products in order to accessibility for all sectors of society. The possibilities of creating an algorithm for maintaining a human-machine dialogue by a humanoid robot are analyzed. The humanoid robot is equipped with two cameras, many sensors, allowing to determine the current location in space, obtain spatial data in the form of telemetry data and information about the current state of space, such as temperature, atmospheric pressure, the presence and concentration of harmful pollutants in the air, the level of illumination and etc. In front of the robot is installed Full HD touch screen with a resolution of 1920x1080. This humanoid robot is created to provide people with disabilities with various services at home and at work. This humanoid robot can also be used for a number of other tasks and purposes in the service sector. The basic idea is the socialization of a person with

*disabilities by employing a robot. Models for museums and restaurants will be developed. A person can be at home and control the robot at a great distance. To control a humanoid robot, basic control skills in computer games will suffice. The robot can work as a guide or waiter, thereby ensuring a stable income for a person with disabilities. At first, the humanoid robot will be trained by the people with disabilities to conduct excursions and, if necessary, to control other robots.*

**Keywords:** *raspberry pi, engine, 3D modeling, robots, control, humanoid robot, robot control, machine learning, artificial intelligence, robot identification*

## QAZROVO РОБОТ ГУМАНОИДЫН ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа:** Мақалада әртүрлі мақсаттарда қолданылатын жоғары деңгейдегі автономды және мобильді гуманоидтық роботты құру мүмкіндіктері қарастырылады. Бұл гуманоидтық робот жылжымалы және үш дөңгелегі арқылы қозғалады, олар әртүрлі маневрлерді орындау үшін оңтайландырылған, «дене» бөліктерінің қозғалысы да адам қозғалысын қайталайды. Құрастыру кезінде қоғамның барлық таптарына алуларына ыңғайлы және өнімнің өзіндік құнын төмендету үшін арзан әрі қолжетімді материалдар пайдаланылады. Гуманоид-робот арқылы адам-машиналық диалогты сақтау алгоритмін құру мүмкіндіктері талданады. Гуманоидтық робот телеметрия мәліметтері түріндегі кеңістіктік деректерді және температураның, атмосфералық қысымның, ауадағы зиянды ластағыштардың болуын және концентрациясын, жарық деңгейін және шоғырлану сияқты кеңістіктің ағымдағы жай-күйі туралы ақпаратты алуға мүмкіндік беретін екі камерамен, көптеген сенсорлармен жабдықталған. Сондай-ақ, роботтың алдыңғы бөлігіне екі камера және 1920x1080 өлшемді Full HD экран орнатылған. Бұл гуманоидтық робот мүмкіндігі шектеулі жандар (МШЖ) үйде және жұмыста әртүрлі қызметтермен қамтамасыз ету үшін жасалады. Бұл гуманоидтық робот, сонымен бірге, қызмет көрсету секторында бірқатар басқа да мақсаттарға қолданылуы мүмкін. Негізгі идея – роботты пайдалану арқылы мүмкіндігі шектеулі жандарды әлеуметтендіру. Қазіргі мұражайлар мен мейрамханалар үшін модельдер әзірленеді. Адам роботты үлкен қашықтықта басқара алады. Гуманоид роботын басқару үшін компьютерлік ойындарда негізгі бақылау дағдылары жеткілікті болады. Робот гид немесе официант ретінде жұмыс істей алады, осылайша мүмкіндігі шектеулі жандардың тұрақты табыс табуын қамтамасыз етеді. Бастапқыда гуманоидтық робот мүгедектерге экскурсиялар жүргізуге және қажет болған жағдайда басқа роботтарды бақылау дағдыларына үйретіледі.

**Түйінді сөздер:** *raspberry pi, қозғалтқыш, 3D модельдеу, роботтар, басқару, гуманоидтық робот, роботты басқару, машиналық оқыту, жасанды интеллект, роботты анықтау*

В настоящее время уделяется все большее внимание созданию человекоподобных роботов, как и схожих по внешнему, так и имитирующих все движения человека. Попытки разработать роботов с машинным обучением и перемещением по частично неизвестной местности на трехмерном подпространстве, двухмерном или одномерном встречаются с большой повторимостью [1, 2]. Поэтому создание робота-гуманоида для ЛОВ является весьма актуальным. Известны случаи попыток создания человекоподобных механических устройств, таких как статуя Венеры, андройд-писатель [3] и т.д. еще со времен Древнего Рима и античной Греции, позже во

времена ренессанса. Развитие современной электротехники и микроэлектроники позволило одновременно уменьшить массы и габариты механических систем за счет электронных компонентов и повысить эффективность и долговечность функционирования.

На данный момент 10% всего населения планеты составляют ЛОВ, казалось бы 10% не так уж и много, но, если говорить конкретными цифрами, то это 650 миллионов человек. По данным Министерства труда и социальной защиты РК в Казахстане за последние 5 лет число инвалидов выросло на 7,5% и доля инвалидов превысила 10% от общего населения, а 50% этих людей ни разу не проходили

реабилитацию. Однако при таком большом числе их не часто заметно. Одна из причин – это их психологическое состояние. Потеря связи с обществом среди ЛОВ можно назвать одной из главных проблем.

ЛОВ не в состоянии работать наравне с обычными людьми. Соответственно, они редко встречаются с сфере обслуживания, промышленности, торговли и т.д. Создание специальных рабочих мест для ЛОВ требует немалых усилий, времени и значительного капиталовложения за счет государства, а частный сектор не всегда заинтересован в этом. Создание специальных рабочих мест для ЛОВ часто организуется недолжным образом, и обычно за счет государственного бюджета и благотворительности, благодаря социальным активистам, волонтерам. Доля ЛОВ, получившая хотя бы разовые пенсион-

ные отчисления в год составила всего лишь 30%.

Ниже на рисунке 1 приведены этапы создания робота гуманоида QazRobo, а в таблице 1 приведены материалы для разработки данного робота-гуманоида.



Рис. 1 – Эскизы робота-гуманоида QazRobo

Таблица 1 – Используемые материалы при разработке

№	Название материала	
	Мобильная часть	Интеллектуальная часть
1	Плата Arduino	Плата Raspberry Pi 3
2	Колеса Omni	Сенсорный Full HD экран с разрешением 1920x1080
3	Электродвигатель, 12 В	2 камеры
4	Драйвер двигателя BTS7971, 68 А	Модуль голосового управления V3
5	ИК датчик E18-D80NK	
6	Аккумулятор li-po, 11.1 V	

На передней части робота расположен экран. На этом экране планируется установить приложения социальных сетей и Skype, с помощью чего человек может видиться и общаться с людьми, несмотря на удаленность, будет создаваться эффект присутствия. Конструкция данного робота-гуманоида приведена на рисунках 2 и 3.

Возможность кражи данного робота злоумышленниками исключается тем, что на каждом роботе будет установлен свой идентификационный номер и только у настоящего владельца будет пароль от управления. Фактически, даже если робота украдут, воспользоваться им никто не сможет. А робот собран из недорогих материалов, которые не представляют материальной ценности, так что при разборке и продаже не будет выручено много средств. Таким образом робот представляет ценность только для владельца.

Преимущества данного гуманоидного робота:

- доступность цены: при конструировании используются доступные недорогие электронные компоненты, материалы;
- алгоритм управления роботом, не имеющий аналогов;
- обеспечивается низкое энергопотребление электрической системы за счет выбора колес и оптимизации конструкции;
- наличие Full HD экрана с установленными средствами связи;
- наличие различных сенсоров и датчиков для определения параметров состояния пространства, таких как температура, влажность воздуха, освещенность и т.д.;
- реакция на речевые сигналы;
- идентификационный номер продукта.

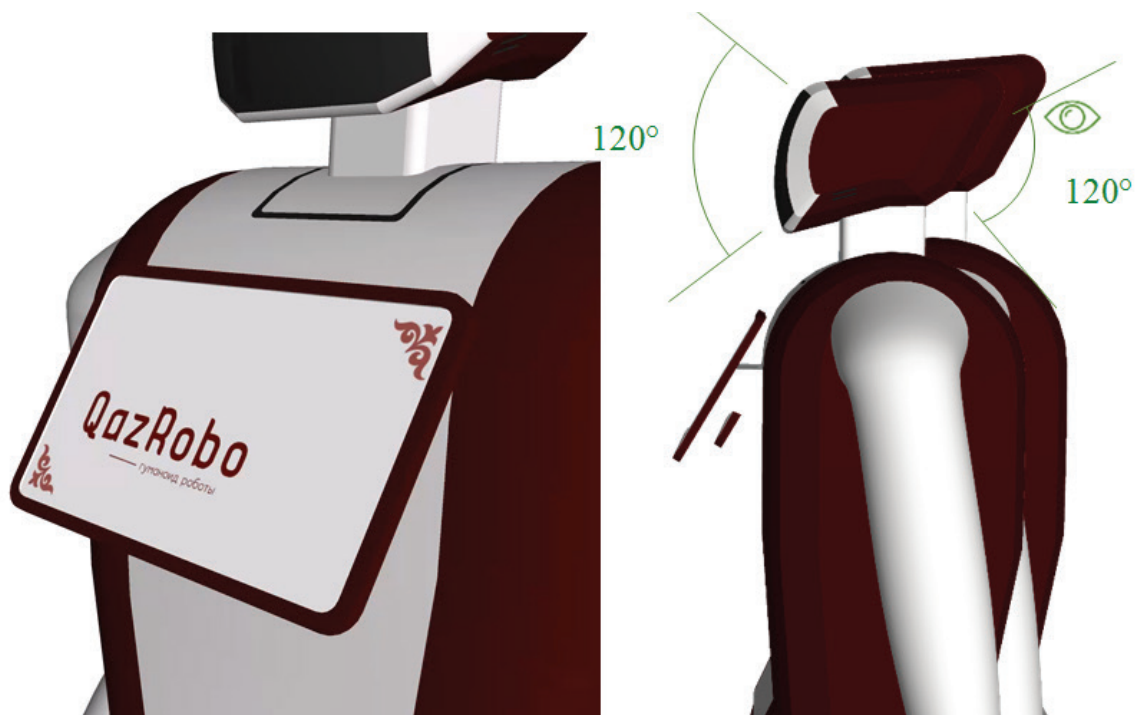


Рис. 2 – Расположение сенсорного экрана и двух камер робота-гуманоида QazRobo

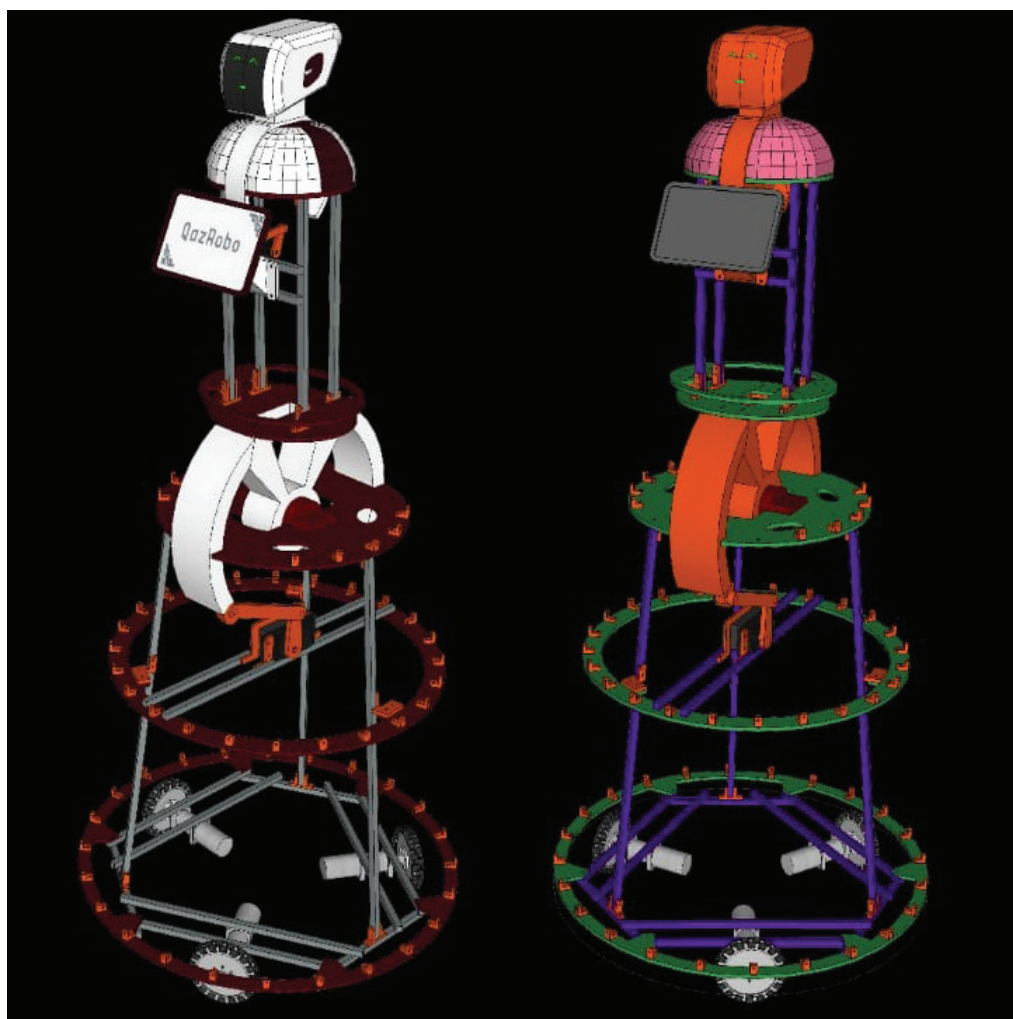


Рис. 3 – Конструкция робота-гуманоида QazRobo

Также рассматриваются вопросы об управлении, риски возникновения технических неполадок. Никто не может отрицать тот факт, что технике свойственно ломаться, но робот не сможет причинить никакого вреда себе, ударившись о стену, столб и другие объекты, тем более человеку, находящемуся рядом. На нем есть датчики расстояния и ИК сенсоры, которые при любом препятствии подадут системе сигнал STOP, поэтому даже умышленно человеку не может быть нанесен вред. Таким образом данный робот обеспечивает безопасность для окружающих.

Корпус данного гуманоидного робота изготавливается из экологически чистого пластика, а всевозможный вред от электронных компонентов устраняется путем размещения их в отдельных корпусах и обертыванием этих компонентов изоляционными материалами. Будет исследовано поведение универсального управленческого алгоритма перемещения гуманоидного робота QazRobo в пространстве с препятствиями [4], а также анализированы возможности управления гуманоидным

роботом QazRobo речевыми сигналами на основе платы Raspberry Pi 3 и модуля голосового управления V3. Экспериментальным путем будут скорректированы диапазоны передачи и приема речевых сигналов.

### Выводы

Мобильный и автономный робот гуманоид QazRobo имитирует действия человека за счет подвижных частей «тела» робота, снижаются расходы на изготовление конечной продукции. Результаты экспериментальных исследований показали, что данный робот-гуманоид может автономно передвигаться в пространстве и реагировать на голос человека, при необходимости проверить состояние человека и уведомить о наличии вредных веществ в составе воздуха. Проведены испытания материала корпуса на воздействие ударов различной интенсивности. Также прошел тестирование алгоритм управления в специальном лабиринте с препятствиями и показал хорошую надежность.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пряничников В.Е., Андреев В.П., Кирсанов К.Б., Кувшинов С.В., Марзанов Ю.С., Никитина Т.А., Пронкин В.Ю., Прысев Е.А. Технологии модернизации и очувствления мобильных роботов специального назначения. // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. – Ростов-на-Дону, 2011. – С. 166-171.
2. Турбина О.А., Фостаковский Е.А. Алгоритмы ведения человеко-машинного диалога гуманоидными роботами НАО. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Лингвистика». Том №11. – Челябинск, 2014. – С. 48-51.
3. Интернет-ресурс: Гуманоиды. Эволюция человекоподобных роботов. Сайт: [https://robotics.ua/shows/modernity/3115-humanoids\\_evolution\\_of\\_humanoid\\_robots](https://robotics.ua/shows/modernity/3115-humanoids_evolution_of_humanoid_robots)
4. Семенчев Е.А., Демидова А.В. Алгоритм перемещения интеллектуальных автономных объектов в пространстве, основанный на законе эволюции двойственных пар. // Вестник ТулГУ. Серия: Вычислительная техника. Информационные технологии. Системы управления. – Вып. 3. «Информационные системы». – Тула, 2009. – С. 10-18.
5. К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. Робототехника. – М.: Изд.Мир, 1989. – 621 с.
6. Mark W.Spong, Seth Hutchinson and M.Vidyasagar. Robot Dynamics and Control. John Wiley & Sons, 2004.
7. Tsai L.W. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. John Wiley & Sons, New York, 1999.

УДК 621.865.8  
МРНТИ 55.30.03

## ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ВИДА 3-PRRS

Ж.Ж. БАЙГУНЧЕКОВ, Р.А. КАЙЫРОВ

*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби*

**Аннотация:** В данной работе на основе ранее полученных постоянных и переменных параметров, характеризующих геометрию бинарных звеньев и относительные движения элементов кинематических пар, составлены матрицы бинарных звеньев и кинематических пар параллельного манипулятора вида 3-PRRS. При решении обратной задачи кинематики рассматриваемого параллельного манипулятора использованы эти матрицы преобразования.

**Ключевые слова:** параллельный манипулятор, трипод, обратная кинематика, постоянные параметры, переменные параметры, рабочая зона, кинематическая пара, матрица преобразования, гидроцилиндр

### INVERSE KINEMATICS OF 3PRRS TYPE PARALLEL MANIPULATOR

**Abstract:** In this paper, on the basis of previously obtained constant and variable parameters characterizing the geometry of binary links and the relative motions of elements of kinematic pairs, the matrices of binary links and kinematic pairs of 3-PRRS type parallel manipulator are composed. Using these transformation matrices, the inverse kinematics problem of the considered parallel manipulator is solved.

**Keywords:** Parallel manipulator, tripod, inverse kinematics, constant parameters, variable parameters, workspace, kinematic pair, transformation matrix, hydraulic cylinder

### 3-PRRS ТҮРДЕГІ ПАРАЛЛЕЛЬ МАНИПУЛЯТОРДЫҢ КЕРІ КИНЕМАТИКАЛЫҚ ЕСЕБІ

**Аңдатпа:** Берілген жұмыста бұрын алынған тұрақты және айнымалы параметрлер негізінде бинарлы звенолардың геометриясын және кинематикалық жұптардың элементтерінің салыстырмалы қозғалысын сипаттайтын 3-PRRS түрдегі параллель манипулятордың бинарлы звеноларының және кинематикалық жұптарының матрицалары құрылды. Осы түрлендіру матрицаларын пайдаланып, қарастырылып отырған манипулятордың кері кинематикалық есебі шығарылды.

**Түйінді сөздер:** параллель манипулятор, трипод, кері кинематика, тұрақты параметрлер, айнымалы параметрлер, жұмыс аймағы, кинематикалық жұп, түрлендіру матрицасы, гидроцилиндр

#### Введение

В данной работе рассматривается решение обратной задачи кинематики исследуемого параллельного манипулятора, т.е. по заданным положениям подвижной платформы определяются переменные параметры входных кинематических пар, которые, как известно, используются для управления движением манипуляционных роботов [7-8].

Параллельный манипулятор трипод вида 3-PRRS с тремя ногами по сравнению с параллельными манипуляторами-гексаподами с шестью ногами обладает большой рабочей зоной, малой металлоемкостью и простой сингулярной конфигурацией [1-6].

**1. Матрицы преобразования**

Рассмотрим одну ногу  $OABCD$  (рис.1) из трех идентичных ног исследуемого параллельного манипулятора вида 3-PRRS.

В работе [1] с каждым элементом кинематических пар жестко соединены системы координат  $U_jV_jW_j$  и  $X_kY_kZ_k$ , ( $j, k = 1, 2, 3, 4$ ) и определены постоянные и переменные параметры. На основе этих постоянных и переменных параметров составим матрицы геометрии звеньев  $G_{jk}$  и матрицы кинематических пар  $P_j$ .

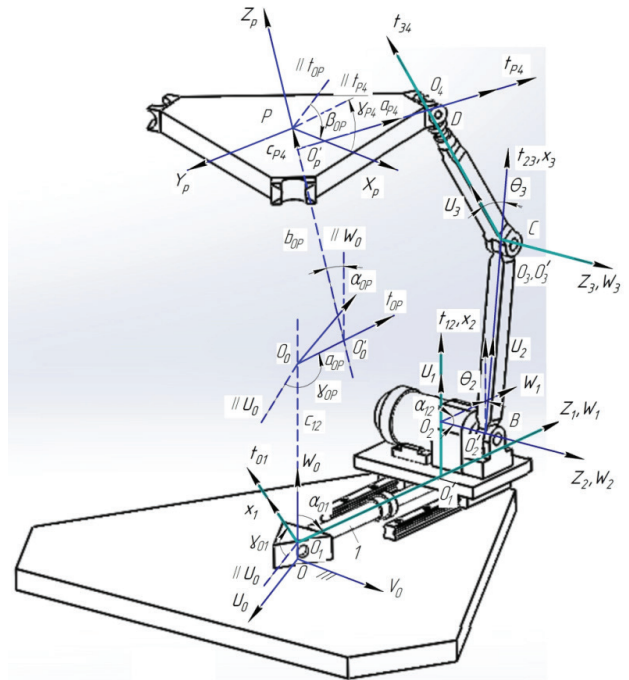


Рис. 1 – Нога  $OABCD$  параллельного манипулятора вида 3-PRRS

$$G_{01} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma_{01} & 0 & \sin \gamma_{01} \\ 0 & \sin \gamma_{01} & 0 & -\cos \gamma_{01} \\ c_{01} & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_1 & -\sin \beta_1 & 0 \\ 0 & \sin \beta_1 & \cos \beta_1 & 0 \\ s_1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ s_1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$G_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{12} & 1 & 0 & 0 \\ b_{12} & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 \\ 0 & \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$G_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{23} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 \\ 0 & \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$G_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{34} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Матрица перехода от абсолютной системы координат  $O_0U_0V_0W_0$  к системе  $PX_PY_PZ_P$ , жестко соединенной с подвижной платформой, имеет вид

$$T_{OP} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{OP} \cdot c\gamma_{OP} + b_{OP} \cdot s\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} & c\gamma_{OP} \cdot c\beta_{OP} - s\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} & -c\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP} - s\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} & s\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \\ a_{OP} \cdot s\gamma_{OP} - b_{OP} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} & s\gamma_{OP} \cdot c\beta_{OP} + c\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} & c\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} - s\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP} & -c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \\ c_{OP} + b_{OP} \cdot c\alpha_{OP} & s\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} & s\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} & c\alpha_{OP} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

## 2. Решение обратной задачи кинематики

В обратной задаче кинематики исследуемого параллельного манипулятора по заданным положениям подвижной платформы относительно абсолютной системы координат  $OU_0V_0W_0$ , определяемые матрицей  $\mathbf{T}_{OP}$  (8), необходимо определить положения входных звеньев. Переменными параметрами входных звеньев рассматриваемой ноги  $OABCD$

являются  $s_1$  и  $\theta_2$ , т.е. ходштока гидроцилиндра 1 и угол поворота звена 2. Остальные две ноги данного параллельного манипулятора имеют по две аналогичные входные переменные параметры.

Определим координаты центра сферического шарнира  $D$  через систему координат  $PX_PY_PZ_P$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ U_D \\ V_D \\ W_D \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{OP} \cdot \mathbf{T}_{P4} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где матрица перехода от системы координат  $PX_PY_PZ_P$  к центру сферического шарнира  $D$  имеет вид

$$\mathbf{T}_{P4} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{P4} \cdot c\gamma_{P4} & c\gamma_{P4} & -s\gamma_{P4} \cdot c\alpha_{P4} & s\gamma_{P4} \cdot s\alpha_{P4} \\ a_{P4} \cdot s\gamma_{P4} & s\gamma_{P4} & c\gamma_{P4} \cdot c\alpha_{P4} & -c\gamma_{P4} \cdot s\alpha_{P4} \\ c_{P4} & 0 & s\alpha_{P4} & c\alpha_{P4} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Подставляя данную матрицу  $\mathbf{T}_{P4}$  в уравнение (9), получим

$$\begin{bmatrix} 1 \\ U_D \\ V_D \\ W_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{b_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\gamma_{OP} + a_{OP} \cdot c\gamma_{OP} + a_{P4} \cdot c\gamma_{P4} \cdot (c\beta_{OP} \cdot c\gamma_{OP} - c\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP}) - a_{P4} \cdot s\gamma_{P4} \cdot (c\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP} + c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP}) + c_{P4} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\gamma_{OP}}{a_{OP} \cdot s\gamma_{OP} + a_{P4} \cdot c\gamma_{P4} \cdot (c\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP} + c\alpha_{OP} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP}) - a_{P4} \cdot s\gamma_{P4} \cdot (s\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP} - c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} \cdot c\gamma_{OP}) - b_{OP} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} - c_{P4} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP}} \\ c_{OP} + b_{OP} \cdot c\alpha_{OP} + a_{P4} \cdot c\beta_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\gamma_{P4} + a_{P4} \cdot c\gamma_{P4} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} + c_{P4} \cdot c\alpha_{P4} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Теперь определим координаты центра сферического шарнира  $D$  через матрицы преобразования ноги  $OABCD$  уравнением

$$\begin{bmatrix} 1 \\ U_D \\ V_D \\ W_D \end{bmatrix} = \mathbf{G}_{01} \cdot \mathbf{P}_1 \cdot \mathbf{G}_{12} \cdot \mathbf{P}_2 \cdot \mathbf{G}_{23} \cdot \mathbf{G}_{34} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{-b_{12}c\gamma_{01} + s_1s\gamma_{01} - a_{23}s\gamma_{01}s\theta_2 - a_{34}s\gamma_{01}s(\theta_2 + \theta_3)}{-b_{12}s\gamma_{01} - s_1c\gamma_{01} + a_{23}c\gamma_{01}s\theta_2 + a_{34}c\gamma_{01}s(\theta_2 + \theta_3)} \\ c_{01} + a_{12} + a_{23}c\theta_2 + a_{34}c(\theta_2 + \theta_3) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Приравнивая правые части уравнений (11) и (12), получим

$$\left. \begin{aligned} -b_{12}c\gamma_{01} + s_1s\gamma_{01} - a_{23}s\gamma_{01}s\theta_2 - a_{34}s\gamma_{01}s(\theta_2 + \theta_3) &= U_D \\ -b_{12}s\gamma_{01} - s_1c\gamma_{01} + a_{23}c\gamma_{01}s\theta_2 + a_{34}c\gamma_{01}s(\theta_2 + \theta_3) &= V_D \\ c_{01} + a_{12} + a_{23}c\theta_2 + a_{34}c(\theta_2 + \theta_3) &= W_D \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

где  $U_D, V_D, W_D$  являются известными величинами, определяемые уравнением (11).

Анализ системы уравнений (13) показал, что первые два уравнения являются линейно зависимыми. Следовательно, один из параметров  $s_1, \theta_2$  и  $\theta_3$  можно выбрать свободным. Действительно, как видно из рисунка 1, заданное положение точки  $D$  подвижной платформы обеспечивается при различных положениях штока гидроцилиндра 1, т.е. параметр  $s_1$ ,

удовлетворяющий условию  $|l_{o_2D}| \geq a_{23} + a_{34}$ .

После преобразования первого и третьего уравнений системы (13) получим

$$I \cdot \sin^2 \theta_2 - J \cdot \sin \theta_2 + K = 0, \quad (14)$$

где  $I, J, K, Q, M$  – известные параметры,

включая  $s_1$  и  $\cos \theta_3$ .  $I = (s_1 - Q)^2 + M^2$ ,

$J = 2 \cdot (a_{23} + a_{34} \cdot \cos \theta_3) \cdot (s_1 - Q)$ ,

$K = (a_{23} + a_{34} \cdot \cos \theta_3)^2 - M^2$ ,

$Q = \frac{U_D + b_{12} \cdot \cos \gamma_{01}}{\sin \gamma_{01}}$ ,  $M = W_D - c_{01} - a_{12}$ ,

**Таблица 1**

$i$	$a_{OP}$	$\alpha_{OP}$	$b_{OP}$	$\beta_{OP}$	$c_{OP}$	$\gamma_{OP}$
1	3.5227	-0.3681	2.1350	-0.8027	78.0080	0.7680
2	3.5949	-0.2461	0.6570	-0.7930	79.4036	0.7777
3	3.5118	-0.4885	1.7399	-0.8164	78.4635	0.7543
4	3.5341	-0.1233	5.8025	2.3542	84.2415	-2.3581
5	3.5300	-0.2462	3.0123	2.3485	87.0785	-2.3638
6	3.5227	-0.3681	2.1350	2.3389	88.0080	-2.3735
7	0.6800	-0.2462	-14.5285	-2.3485	94.0904	2.3638
8	0.6457	-0.3681	-9.8578	-2.3389	89.1974	2.3735
9	0.5969	-0.4885	-7.5763	-2.3251	86.6901	2.3873

$$\cos \theta_3 = \frac{(s_1 - Q)^2 + M^2 - a_{23}^2 - a_{34}^2}{2 \cdot a_{23} \cdot a_{34}}$$

Из уравнения (14) получаем

$$\theta_2 = \arcsin \frac{J \pm \sqrt{J^2 - 4 \cdot I \cdot K}}{2 \cdot I}, \quad (15)$$

что соответствует двум различным сборкам диады  $BCD$ .

### 3. Численные результаты

Пусть заданы длины звеньев  $a_{23} = a_{67} = a_{9,10} = 60, a_{34} = a_{74} = a_{10,4} = 70$ .

Заданы также параметры  $a_{OP}, \alpha_{OP}, b_{OP}, \beta_{OP}, c_{OP}, \gamma_{OP}$  (таблица 1), определяющие положение подвижной платформы 4 или координат центров сферических шарниров  $D, E, F$ .

Определены значения углов  $\theta_2, \theta_3, \theta_6, \theta_7, \theta_9, \theta_{10}$ , из которых  $\theta_2, \theta_6, \theta_9$  являются входными при  $s_1 = s_5 = s_6 = 60$ . Результаты расчета представлены в таблице 2. Значения углов в таблицах 1 и 2 представлены в радианах.

Таблица 2

$i$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_6$	$\theta_7$	$\theta_9$	$\theta_{10}$
1	-0.9275	2.0794	-0.7799	2.4107	-0.7025	2.0794
2	-0.8859	2.0104	-0.7097	2.4016	-0.5619	2.0104
3	-0.8841	2.00801	-0.6606	2.4198	-0.6397	2.0080
4	-0.8822	2.1458	-0.9207	2.0194	-1.0482	2.1458
5	-0.8845	2.2002	-0.8610	1.9221	-1.1944	2.2002
6	-0.8757	2.2484	-0.7857	1.8197	-1.4824	2.2484
7	-0.9646	2.1482	-0.8922	2.2011	-0.4625	2.1482
8	-0.9276	2.0794	-0.9022	2.1849	-0.2645	2.0794
9	-0.8842	2.0080	-0.9234	2.1743	-0.0795	2.0080

### Выводы

Составлены матрицы кинематических пар и бинарных звеньев одной из трех идентичных ног параллельного манипулятора вида 3-PRRS. На основе составленных матриц кинематических пар и бинарных звеньев

решена обратная задача кинематики исследуемого параллельного манипулятора. Проведен численный анализ решения обратной задачи кинематики.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Merlet J-P. Parallel Robots. Kluwer, Dordrecht, 2000.
2. Tsai L.W. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. John Wiley & Sons, New York, 1999.
3. Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. Kluwer Academic Publisher, 2004.
4. Stewart D. A Platform with six Degrees-of-Freedom. Proc. Inst. Mech. Eng., Vol. 108, No. 15, 1965, pp.3771-386.
5. Kohli D., Lee S-H, Tsai K-Y, Sandor G. N., Manipulator Configurations Based on Rotary-Linear (R-L) Actuators and Their Direct and Inverse Kinematics. Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 110, pp. 397-404, 1988.
6. Zlatanov D., Dai M.Q., Fenton R.G., Benhabib B., Mechanical Design and Kinematic Analysis of a Three-Legged Six Degree-of-Freedom Parallel Manipulator, Robotics, Spatial Mechanisms, and Mechanical Systems, Kiezal, Reinholtz, Lipkin, Tsai, Pennock, Cipra, eds., DE – Vol.45, pp. 529-536, 1992.
7. К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. Робототехника. - М.: Изд.Мир, 1989.- 621 с.
8. Mark W.Spong, Seth Hutchinson and M.Vidyasagar. Robot Dynamics and Control. John Wiley & Sons, 2004.

УДК 621.865.8  
МРНТИ 55.30.03

## ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ВИДА 3-PRPS

Ж.Ж. БАЙГУНЧЕКОВ, А.Н. КАСИНОВ

*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби*

**Аннотация:** В данной работе на основе ранее полученных постоянных и переменных параметров, характеризующих геометрию бинарных звеньев и относительные движения элементов кинематических пар, составлены матрицы бинарных звеньев и кинематических пар параллельного манипулятора вида 3-PRPS. При использовании этих матриц преобразования, решена обратная задача кинематики рассматриваемого параллельного манипулятора.

**Ключевые слова:** параллельный манипулятор, трипод, обратная кинематика, рабочая зона, гидроцилиндр, сферический шарнир, звено, матрица преобразования, сингулярная конфигурация

### INVERSE KINEMATICS OF 3-PRPS TYPE PARALLEL MANIPULATOR

**Abstract:** In this paper, on the basis of previously obtained constant and variable parameters characterizing the geometry of binary links and the relative motions of elements of kinematic pairs, the matrices of binary links and kinematic pairs of 3-PRPS type parallel manipulator are composed. Using these transformation matrices, the inverse kinematics problem of the considered parallel manipulator is solved.

**Keywords:** Parallel manipulator, tripod, inverse kinematics, workspace, hydraulic cylinder, spherical hinge, link, transformation matrix, singular configuration

### 3-PRPS ТҮРДЕГІ ПАРАЛЛЕЛЬ МАНИПУЛЯТОРДЫҢ КЕРІ КИНЕМАТИКАЛЫҚ ЕСЕБІ

**Аңдатпа:** Аталған жұмыста бұрын алынған тұрақты және айнымалы параметрлер негізінде бинарлы звенолардың геометриясын және кинематикалық жұптардың элементтерінің салыстырмалы қозғалысын сипаттайтын 3-PRPS түрдегі параллель манипулятордың бинарлы звеноларының және кинематикалық жұптарының матрицалары құрылды. Осы түрлендіру матрицаларын пайдаланып, қарастырылып отырған манипулятордың кері кинематикалық есебі шығарылды.

**Түйінді сөздер:** параллель манипулятор, трипод, кері кинематика, жұмыс аймағы, гидроцилиндр, сфералық топса, звено, түрлендіру матрицасы, сингулярлық конфигурация

#### Введение

В данной работе рассматривается решение обратной задачи кинематики исследуемого параллельного манипулятора, т.е. по заданным положениям подвижной платформы определяются переменные параметры входных кинематических пар, которые, как известно, используются для управления движением манипуляционных роботов [7-8].

Параллельный манипулятор трипод вида 3-PRRS с тремя ногами по сравнению с параллельными манипуляторами-гексаподами с шестью ногами обладает большой рабочей зоной, малой металлоемкостью и простой сингулярной конфигурацией [1-6].

## 2. Матрицы преобразования

Рассмотрим одну ногу  $OABCD$  (рис.1) из трех идентичных ног исследуемого параллельного манипулятора вида 3-PRPS.

В работе [1] с каждым элементом кинематических пар жестко соединены системы координат  $U_jV_jW_j$  и  $X_kY_kZ_k$ , ( $j, k = 1, 2, 3, 4$ ) и определены постоянные и переменные параметры. На основе этих постоянных и переменных параметров составим матрицы геометрии звеньев  $\mathbf{G}_{jk}$  и матрицы кинематических пар  $\mathbf{P}_j$

$$\mathbf{G}_{01} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma_{01} & 0 & \sin \gamma_{01} \\ 0 & \sin \gamma_{01} & 0 & -\cos \gamma_{01} \\ c_{01} & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_1 & -\sin \beta_1 & 0 \\ 0 & \sin \beta_1 & \cos \beta_1 & 0 \\ s_1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ s_1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\mathbf{G}_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ a_{12} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\mathbf{P}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 \\ 0 & \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{23} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матрица перехода от абсолютной системы координат  $OU_0V_0W_0$  к системе  $PX_PY_PZ_P$ , жестко соединенной с подвижной платформой, имеет вид

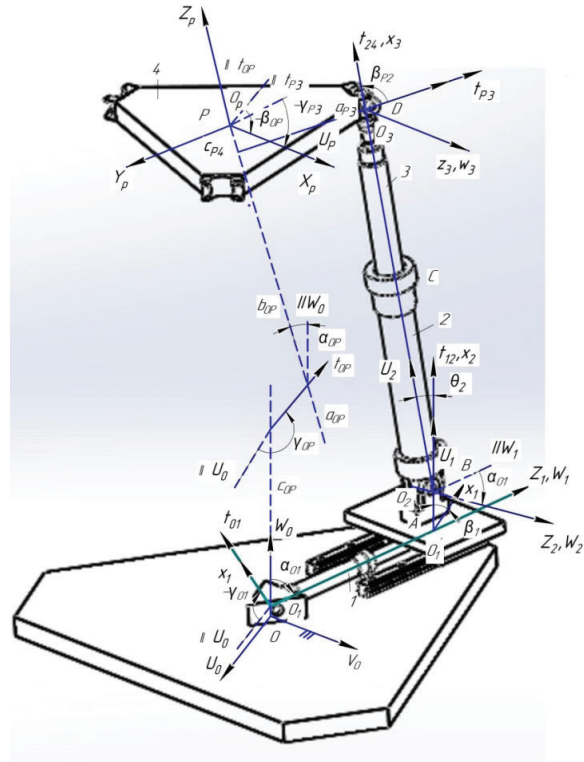


Рис. 1 – Параметры ноги параллельного манипулятора вида 3-PRPS

## 2. Решение обратной задачи кинематики

В обратной задаче кинематики исследуемого манипулятора по заданным положениям подвижной платформы относительно абсолютной системы координат  $OU_0V_0W_0$ , определяемые матрицей  $\mathbf{T}_{0p}$  (6), необходимо определить положения входных звеньев. Переменными параметрами рассматриваемой ноги  $OABCD$  являются  $s_1$  и  $s_3$ , т.е. ход штока гидроцилиндра 1 и звена 2. Остальные две ноги данного параллельного манипулятора имеют по две аналогичные входные переменные параметры.

$$\mathbf{T}_{OP} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{OP} \cdot c\gamma_{OP} + & c\gamma_{OP} \cdot c\beta_{OP} - & -c\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP} - & \\ +b_{OP} \cdot s\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} & -s\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} & -s\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} & s\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \\ a_{OP} \cdot s\gamma_{OP} - & s\gamma_{OP} \cdot c\beta_{OP} + & c\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} - & \\ -b_{OP} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} & c\gamma_{OP} \cdot c\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} & -s\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP} & -c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \\ c_{OP} + b_{OP} \cdot c\alpha_{OP} & s\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} & s\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} & c\alpha_{OP} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Определим координаты центра сферического шарнира  $D$  через систему координат  $PX_3Y_3Z_3$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ U_D \\ V_D \\ W_D \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{OP} \cdot \mathbf{T}_{P3} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где матрица перехода от системы координат  $PX_PY_PZ_P$  к центру сферического шарнира  $D$  имеет вид

$$\mathbf{T}_{P3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{P3} \cdot c\gamma_{P3} & c\gamma_{P3} & -s\gamma_{P3} \cdot c\alpha_{P3} & s\gamma_{P3} \cdot s\alpha_{P3} \\ a_{P3} \cdot s\gamma_{P3} & s\gamma_{P3} & c\gamma_{P3} \cdot c\alpha_{P3} & -c\gamma_{P3} \cdot s\alpha_{P3} \\ c_{P3} & 0 & s\alpha_{P3} & c\alpha_{P3} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Подставляя данную матрицу  $\mathbf{T}_{P3}$  в уравнение (7), получим

$$\begin{bmatrix} 1 \\ U_D \\ V_D \\ W_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ b_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\gamma_{OP} + a_{OP} \cdot c\gamma_{OP} + \\ + a_{P3} \cdot c\gamma_{P3} \cdot (c\beta_{OP} \cdot c\gamma_{OP} - c\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP}) - \\ - a_{P3} \cdot s\gamma_{P3} \cdot (c\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP} + c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP}) + c_{P3} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\gamma_{OP} \\ a_{OP} \cdot s\gamma_{OP} + a_{P3} \cdot c\gamma_{P3} \cdot (c\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP} + c\alpha_{OP} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\beta_{OP}) - \\ - a_{P3} \cdot s\gamma_{P3} \cdot (s\beta_{OP} \cdot s\gamma_{OP} - c\alpha_{OP} \cdot c\beta_{OP} \cdot c\gamma_{OP}) - \\ - b_{OP} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} - c_{P3} \cdot c\gamma_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \\ c_{OP} + b_{OP} \cdot c\alpha_{OP} + a_{P3} \cdot c\beta_{OP} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\gamma_{P3} + \\ + a_{P3} \cdot c\gamma_{P3} \cdot s\alpha_{OP} \cdot s\beta_{OP} + c_{P3} \cdot c\alpha_{P3} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Теперь определим координаты центра сферического шарнира  $D$  через матрицы преобразования ноги  $OABCD$  уравнением

$$\begin{bmatrix} 1 \\ U_D \\ V_D \\ W_D \end{bmatrix} = \mathbf{G}_{01} \cdot \mathbf{P}_1 \cdot \mathbf{G}_{12} \cdot \mathbf{P}_2 \cdot \mathbf{P}_3 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{s_1 \sin \gamma_{01} - s_3 \sin \gamma_{01} \sin \theta_2}{-s_1 \cos \gamma_{01} + s_3 \cos \gamma_{01} \sin \theta_2} \\ \frac{-s_1 \cos \gamma_{01} + s_3 \cos \gamma_{01} \sin \theta_2}{c_{01} + a_{12} + s_3 \cos \theta_2} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Приравнивая правые части уравнений (9) и (10), получим

$$\left. \begin{aligned} s_1 \sin \gamma_{01} - s_4 \sin \gamma_{01} \sin \theta_2 &= U_D \\ -s_1 \cos \gamma_{01} + s_3 \cos \gamma_{01} \sin \theta_2 &= V_D \\ c_{01} + a_{12} + s_3 \cos \theta_2 &= W_D \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

$$s_3 = \sqrt{(s_1 - F)^2 + K^2}, \quad \theta_2 = \arccos \left( \frac{M \pm \sqrt{2 - M^2}}{2} \right), \quad (12)$$

где  $F = \frac{U_D}{\sin \gamma_{01}}$ ,  $K = W_D - c_{01} - a_{12}$ ,  $M = \frac{s_1 - F + K}{s_3}$ .

где  $U_D, V_D, W_D$  являются известными величинами, определяемые уравнением (9).

Анализ системы уравнений (13) показал, что первые два уравнения являются линейно зависимыми. Следовательно, один из параметров  $s_1, \theta_2$  и  $\theta_3$  можно выбрать свободным. Действительно, как видно из рисунка 1, заданное положение точки D подвижной платформы обеспечивается при различных положениях штока гидроцилиндра 1.

### 3. Численные результаты

Заданы параметры  $a_{OP}, \alpha_{OP}, b_{OP}, \beta_{OP}, c_{OP}, \gamma_{OP}$  (таблица 1), определяющие положение подвижной платформы 4 или координаты центров сферических шарниров D, E, F.

Определены значения углов  $s_1, \theta_2, s_5, \theta_4, s_6, \theta_6$  при входных значениях  $s_1 = s_2 = s_5 = 50$ . Результаты расчета представлены в таблице 2. Значения углов в таблицах 1 и 2 представлены в радианах.

Таблица 1

<i>i</i>	$a_{OP}$	$\alpha_{OP}$	$b_{OP}$	$\beta_{OP}$	$c_{OP}$	$\gamma_{OP}$
1	4.9538	-0.1233	17.1666	-0.7835	102.9638	0.7873
2	4.9658	-0.2462	8.5483	-0.7777	111.7094	0.7931
3	4.9858	-0.3681	5.6559	-0.7681	114.7230	0.8027
4	2.1591	0.2462	20.2422	-2.3638	100.3682	2.3485
5	2.2068	0.3681	13.6511	-2.3735	107.2634	2.3389
6	2.2741	0.4885	10.4008	-2.3873	110.8158	2.3251
7	0.0325	0.2462	17.4075	0.7777	103.1174	-0.7931
8	0.0735	0.3681	11.7885	0.7681	109.0012	-0.8027
9	0.1318	0.4885	9.0354	0.7543	112.0215	-0.8165

Таблица 2

<i>i</i>	$s_3$	$\theta_2$	$s_4$	$\theta_4$	$s_6$	$\theta_6$
1	98.7618	0.5799	91.9882	0.4712	98.2112	0.4939
2	102.4331	0.5871	87.7282	0.4334	100.0528	0.4837
3	106.0214	0.5902	83.8898	0.3860	102.1205	0.4707
4	88.4554	0.5313	93.7334	0.5051	106.2567	0.5413
5	85.6636	0.5053	92.4805	0.5014	111.1674	0.5534
6	83.3852	0.4742	91.2974	0.4933	115.9958	0.5609
7	103.5152	0.5357	97.6871	0.5924	85.0202	0.5617
8	107.0853	0.5407	99.6370	0.5783	80.8482	0.5259
9	110.4796	0.5416	101.8196	0.5618	77.1458	0.4817

### Выводы

Составлены матрицы кинематических пар и бинарных звеньев одной из трех идентичных ног параллельного манипулятора вида 3-PRPS. На основе составленных матриц кинематических пар и бинарных звеньев решена обратная задача кинематики исследуемого параллельного манипулятора. Проведен численный анализ решения обратной задачи кинематики.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Merlet J-P. Parallel Robots. Kluwer, Dordrecht, 2000.
2. Tsai L.W. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. John Wiley & Sons, New York, 1999.
3. Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. Kluwer Academic Publisher, 2004.
4. Stewart D. A Platform with six Degrees-of-Freedom. Proc. Inst. Mech. Eng., Vol. 108, No. 15, 1965, pp.3771-386.
5. Kohli D., Lee S-H, Tsai K-Y, Sandor G. N., Manipulator Configurations Based on Rotary-Linear (R-L) Actuators and Their Direct and Inverse Kinematics. Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 110, pp. 397-404, 1988.
6. Zlatanov D., Dai M.Q., Fenton R.G., Benhabib B., Mechanical Design and Kinematic Analysis of a Three-Legged Six Degree-of-Freedom Parallel Manipulator, Robotics, Spatial Mechanisms, and Mechanical Systems, Kiezal, Reinholtz, Lipkin, Tsai, Pennock, Cipra, eds., DE – Vol.45, pp. 529-536, 1992.
7. К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. Робототехника. – М.: Изд.Мир, 1989. – 621 с.
8. Mark W.Spong, Seth Hutchinson and M.Vidyasagar. Robot Dynamics and Control. John Wiley & Sons, 2004.

УДК 621.32  
МРНТИ 47.03.05

## СВЕТОДИОДТЫ ҚУАТ КӨЗДЕРІНІҢ СХЕМОТЕХНИКАЛЫҚ ШЕШІМДЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ САЛЫСТЫРУ

С.Б. БОЛАТБЕК, А.М. АУЭЗОВА

*Алматынський университет энергетікі і сьязі*

**Аңдатпа:** Светодиодты қуат көздерінің концепцияларын және схемотехникалық шешімдерін зерттеу жұмыстың мақсаты болып табылады.

Схемотехникалық шешімдер функционалды сынақтардан өтеді. Жаңа пассивті түзетушілер, светодиод тогын тұрақтандыру сияқты схемалар драйвердің әртүрлі жұмыс жағдайларында қажетті функционалды сипаттамаларға қол жеткізу үшін тексеріледі. Өзгертін кіріс желілік кернеу, қоршаған ортаның температурасы, бос жүріс, қысқа тұйықталу, шығыс жүктеменің шамасы, динамикалық процестер және т.б. жұмыс шарттары болып есептеледі. Әрбір схемотехникалық шешім сынақтарда көңіл бөлінетін жеке мақсаттық функционалды көрсеткіштерге ие. Токты тұрақтандырудың көрінісінің негізгі мақсаты – оның дәлдігі және ПӘК.

**Түйінді сөздер:** сызықты, импульсті драйвер, ток генераторы, токты тұрақтандырушы, гальваникалық оқшаулау, светодиодты тізбек

## RESEARCH AND COMPARISON OF EXISTING CIRCUIT-TECHNICAL SOLUTIONS FOR LED POWER SOURCES

**Abstract:** The aim of the work is to research the existing concepts and circuit solutions for LED drivers. Circuit solutions are tested by functional tests. So the scheme of new passive correctors, methods for stabilizing the LED current, etc. are tested to achieve the desired functional characteristics under various conditions of the driver. The working conditions, for example, are variable input mains voltage, ambient temperature, idle speed, short circuit condition, output load, dynamic processes, etc. Each circuit solution has its own target functional parameters, which will be paid attention to in tests. The main target displays of the current stabilization scheme are stabilization accuracy and efficiency.

**Keywords:** linear, pulse driver, current generator, current stabilizer, galvanic isolation, LED circuit

## ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

**Аннотация:** Целью работы является исследование существующих концепций и схемотехнических решений для светодиодных драйверов.

Схемотехнические решения проверяются функциональными тестами. Так схемы новых пассивных корректоров, методов стабилизации тока светодиода и т.д. проверяются на достижение желаемых функциональных характеристик при различных условиях работы драйвера. Условиями работы, например, являются изменяемое входное сетевое напряжение, температура окружающей среды, холостой ход, условие короткого замыкания, величина выходной нагрузки, динамические процессы и т.п. Каждое схемотехническое решение имеет свои целевые функциональные параметры, которым будет уделяться внимание в тестах. Основные целевые отображения схемы стабилизации тока – точность стабилизации и к.п.д.

**Ключевые слова:** линейный, импульсный драйвер, генератор тока, стабилизатор тока, гальваническая развязка, светодиодная цепь

Қорек көзінің ортақ желісі айнаымалы токпен қамтамасыз етілуімен салыстырғанда светодиодтардың қалыпты жұмыс істеуі үшін тек тұрақты токқа байланысты. Желілік қорек көзінің светодиодтармен келісіліп жұмыс істеуі үшін айнаымалы желілік токты тұрақты ток көзіне түрлендіретін қосымша электронды құрылғылар пайдаланылады. Оларды ғылыми әдебиеттерде светодиодты қуат көзі немесе светодиодты ток тұрақтандырушы немесе светодиодты драйвер деп атайды.

Светодиод жарғылайөткізгіш элемент болғандықтан, олардың жарқырауын анықтайтын кілттік сипаттамасы кернеу емес, ток болып табылады. Светодиод өзінің жұмыс істеуге берілген сағаттар санын кепілді өтеуі үшін драйвер қажет. Ол светодиодтар тізбегі арқылы өтетін токты тұрақтандырады.

Светодиодтың қуаты оның тұтынатын тоғына әсер етеді. Ал, оның тұтынатын тоғы светодиодтың жарқырауының өзгеруіне тәуелді. Сондықтан драйвер светодиодтарды осы токпен қамтамасыз етеді.

Жүктеменің қуаты мыналарға тәуелді:

- а) әрбір светодиодтың қуатына;
- ә) олардың санына;
- б) түстеріне.

Жалпы жағдайда светодиодты драйверлер екі санатқа бөлінеді:

- а) сызықты;
- ә) импульсті.

Сызықтыда шығыс – ток генераторы. Оның басты функциясы – кіріс кернеу тұрақты емес болғанда токты тұрақтандыруды қамтамасыз ету: жоғары жиілікті электромагнитті кедергілерді тудырмақ үшін баптау процесі тегіс жүреді. Бұл оның басты артықшылығы болып табылады. Ал, кемшілігі-аз ПӘК, яғни 80%-дан аз шамаға тең. Осылайша, өзінің қолданылу аясын аз қуатты светодиодтармен шектеп қалады.

Импульсті драйверлер шығыста жоғары жиілікті ток импульстерін тудыратын құрылғылар. Мұндай драйверлер өзінің жинақылығы және жоғары ПӘК (шамамен 95%) арқасында кең тараған. Негізгі кемшілігі – сызықтымен салыстырғанда электромагнитті кедергілер деңгейінің үлкендігі.

Қуат көзінің түрін таңдау шамдардың қайда эксплуатациялануына тәуелді. Мысалы, қойманы жарықтандыру үшін 0°C жоғары жұмыс температурасындағы және IP 20 қорғаныс деңгейіндегі драйверлерді таңдауға болады. Ал, адамдар компьютермен жұмыс істейтін офис сияқты бөлмелерге қойылатын шамдардың драйверлеріне арнайы талаптар бар. Мысалы, пульсация коэффициенті 5% аспау керек.

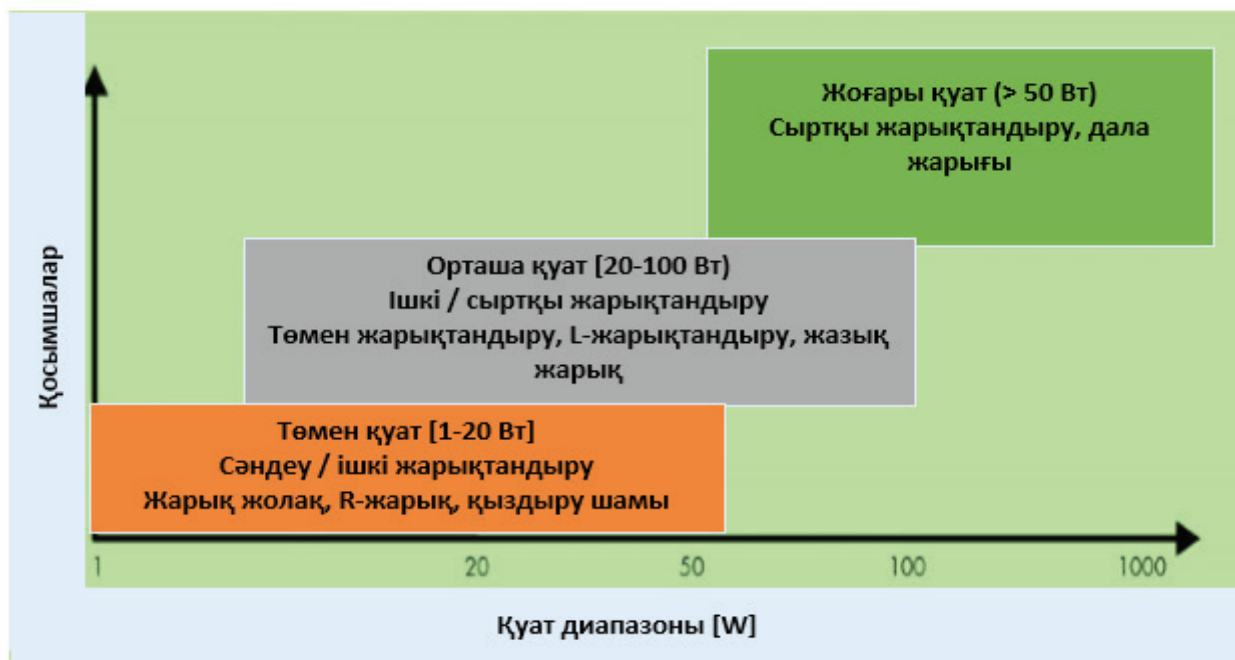
Светодиодты жарықтандырудың даму бағыты қуат деңгейінің үш негізгі кірісіне бөлінеді: аз қуатты 20 Вт-қа дейін немесе одан кем; орташа қуат 20-дан 50 Вт дейінгі аралықты құрайды; күшті қуат 50 Вт жоғары. Нақты өмірде нәтиже аталған көрсетулерге сәйкес келе бермейді, бірақ шешім қабылдау кезінде осы үш деңгеймен салыстырылады.

Төмендегі суретте светодиодтардың қуаттар диапазонына байланысты алынатын орталары бейнеленген.

Светодиодты драйверлердің өндірісін қадағалауға арналған көптеген стандарттар мен программалар бар, олар ерікті және міндетті түрде қатыса алады. Төмендегі кестеде светодиодты жарықтандыруды қадағалау үшін құрылған Energy Star агенттік программасының стандарттары көрсетілген.

Қазіргі светодиодты драйверлер келесідей кедергілерден тұрады және бұл кедергілер олардың тепе-теңдік пен басымдықта болулары үшін құрастырылымдық шектеулеріне әкеледі:

- өңдеу уақыты;
- құны;
- жобалаудың күрделілігі;
- кіріске сәйкес келетін қуат топологиясын іздестіру және шығыс кернеудің параметрлері, жылулық дизайн, техникалық қауіпсіздік ережелері;
- тиімділігі;
- әлемдік ережелерді сақтау (қуат шығынын азайту, қуат коэффициентін түзету);
- сенімділігі және қызмет көрсету мерзімі;
- тұрақты ток шығысы;
- жарықтылықты және қараңғылықты реттеу диапазоны (демпфирлеуші контур);



1-сурет. Кіріс қуаттың негізгі деңгейлері

**1 кесте – Светодиодтар үшін драйвердің стандарттары және оларға қойылатын талаптар**

Негізгі көрсеткіштер	Анықтама	Талаптар
Жалпы гармоникалық бұрмалану	KS C7651/2/3 (IEC61000-3-2)	Класс С (>25 Вт) Класс Д (≤25 Вт)
Қуат коэффициенті	Energy Star программасы [01.10.2011]	Тұрғын үй ≥ 0.7 > 5 Вт үшін Коммерциялық ≥ 0.9 > 5 Вт үшін
Қараңғылық	Energy Star программасы [01.10.2011]	Жалпы жарық ағыны бойынша тұрақты қараңғылық 35%-100% аралығында
Басталу уақыты	Energy Star программасы [01.10.2011]	5 секунд аралығында
Шамның стандартты пішіні	MR16, PAR16/20/30S/30L/38 dimension	ANSI C78.21-2003
Өтпелі процестерден қорғаныс	Energy Star программасы [01.02.2009]	IEEE C.62.41-1991 Класс А
Минималды жұмыс температурасы	Energy Star программасы [01.02.2009]	Минимум -20°C-тан басталады
Шу	Energy Star программасы [01.02.2009]	А класты дыбыс
Тиімділігі	Energy Star программасы [01.10.2011]	≥65* лм / Вт [01.09.2013]
Кепілдік	Energy Star программасы [01.10.2011]	Ауыстырылмайтын драйверлер: 5 жыл Ауыстырылатын драйверлер: 3 жыл

- жарықтың жыпылықтауы;
- шектелген баспа платасы;
- қысқа тұйықталудан қорғаныс.

Сонымен, осы светодиодты драйверлердің белгілі түрлерін қарастырайық.

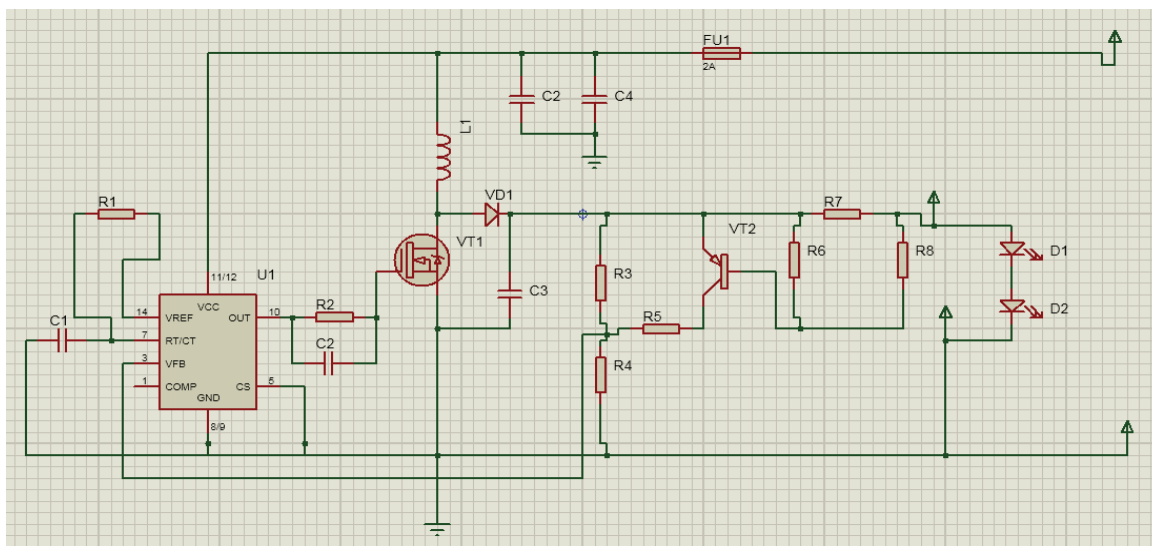
1. ON Semiconductor UC3845 – шығыс тоғы 1 А дейін жететін импульсті драйвер; бекітілген жиілікті PWM-контроллер. Бұл интегралды схема токты өлшейтін компараторды, күшейткішті, температуралық компенсациялы тірек сигналды және жұмыс циклін дәл басқару үшін кесілген осциллятормен жабдықталған.

**2 кесте – ON Semiconductor UC3845 негізгі көрсеткіштері**

Сипаттамасы	Көрсеткіштері
Реттеу режимі	Ток бойынша
Жиілік, кГц	52
Төмен кіріс кернеуінен қорғау, В	+
Шығыстағы қысқа тұйықталудан қорғау	+
Қорек кернеуі, В	30
Шығыс ток, А	±1
Аналогты кірістер, В	-0,3...6,3
Шығыс күшейткіштен ағу тоғы, мА	10
Сақтау температурасы, °С	-65...+150

ON Semiconductor UC3845 светодиодты драйвері 1-кестедегі мәліметтерге сәйкес, ток бойынша реттелетін режимде жұмыс істейді. Жұмыстық жиілігі 52 кГц-ке дейін жетеді. Бұл өз кезегінде оның жұмыс істеу жылдамдығының орташа екендігін көрсетеді. Төмен кіріс кернеуінен және шығыстағы қысқа тұйықталудан қорғаумен жабдықталғандықтан, жоғары сенімділікке ие. Қорек кернеуі – әдетте, 30 В дейін. Құрылғыны көрсетілген температура аралығында сақтамаса, немесе қолданбаса, ол аспаптың бірден істен шығуына алып келеді. Сондықтан, белгіленген нормалар мен шектеулер сақталады. Төмендегі суретте ON Semiconductor UC3845 драйверінің Proteus программасындағы схемасы көрсетілген.

2. Supertex HV9910–шығыстағы ток 10 мА аспайды, гальваникалық оқшаулауға ие емес, 8-450 В аралығында қорек кернеуіне және 1 А аспайтын шығыс тоғына тең аса жоғары жарқырауға ие светодиодтардың әмбебап ток тұрақтандырғышы. Мұндай микросхема светодиодтарды қуаттау үшін тұрақты ток көзін қарапайым түрде жүзеге асыруға мүмкіндік береді; тұрақты токтың жоғары тұрақтылығы талап етілмейтін арзан бағалы шамдарға арналған.



2-сурет. Светодиодқа арналған UC3845 негізіндегі драйвердің Proteus программасындағы схемасы

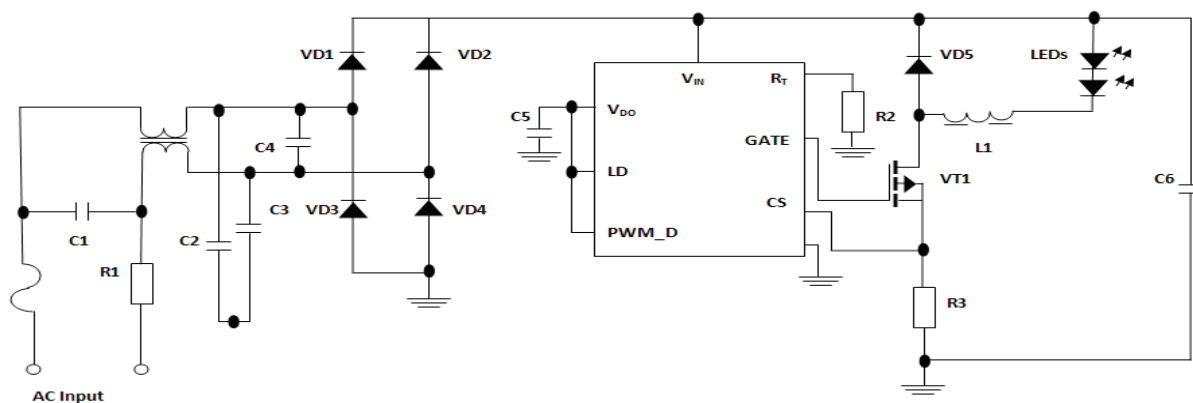
**3 кесте – Supertex HV9910 негізгі көрсеткіштері**

Сипаттамасы	Көрсеткіштері
Тиімділігі, %	90 көп
Кіріс кернеу немесе қорек кернеуі, В	8...450
Светодиодтар арқылы тұрақталған токты қамтамасыз етеді	бірнеше мА-ден 1 А-ден жоғары
Жұмыс температурасының аралығы, °С	-40...+85
Жоғары деңгейдегі шығыс кернеуі, В	8...450

3. Осы фирманың тағы бір микросхемасы – LM3404HV – Buck Converter түрлендіргіші принципі негізінде жұмыс істейді, яғни қажетті токты ұстап қалу функциясы катушка және Шоттки диодынан тұратын резонансты тізбекке ішінара қойылған.

Жоғарыда аталған светодиодты драйверлердің барлығы National Semiconductor фирмасында әзірленеді.

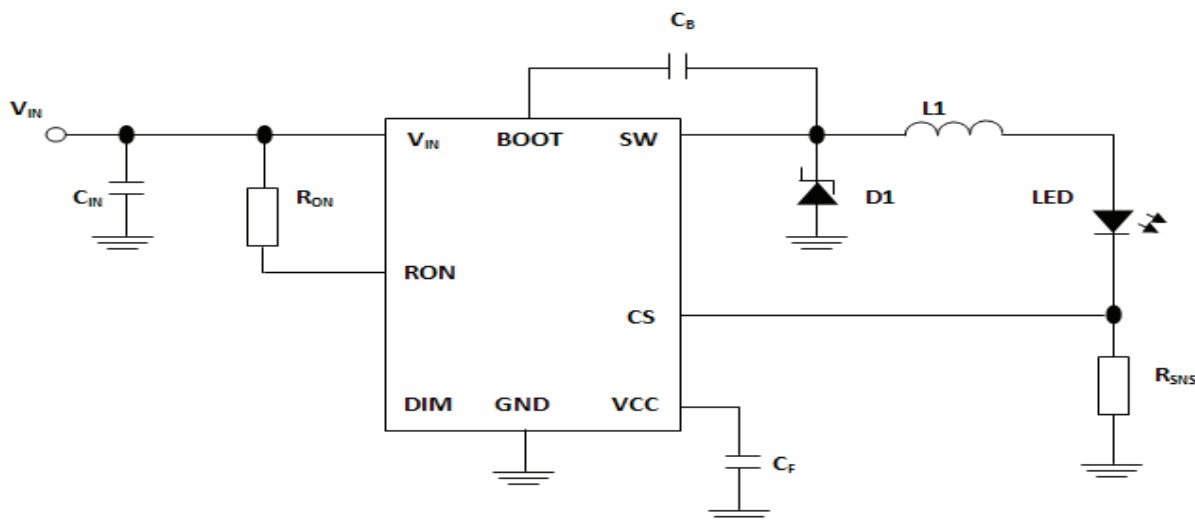
Осы аталған үш светодиодты драйверлерді олардың негізгі сипаттамалары бойынша салыстыра отырып, LM3404HV типті светодиодты драйвер әртүрлі қауіпсіздік ережелеріне ON Semiconductor UC3845 және Supertex HV9910 қарағанда анағұрлым сәйкес келеді. Сонымен қатар, тиімділік бойынша ең жоғары пайызды LM3404HV типті драйвер көрсетеді. Үш драйвердің ішінен осы драйвер орташа жұмыс температурасының интервалында жұмыс істейді. Дегенмен, светодиодтар негізіндегі драйверлерді тек қауіпсіздік және тиімділік қасиеттері арқылы ғана бағалауға болмайды. Әрбір светодиодты драйвердің белгілі бір қызметі және қолда-



3-сурет. Светодиодқа арналған Supertex HV9910 драйверінің схемасы

**4 кесте – LM3404HV негізгі көрсеткіштері**

Сипаттамасы	Көрсеткіштері
Шығыс ток, А	1,2
Шығыс кернеу, В	4
Кіріс кернеу, В	6~75
Жиілік, МГц	1
Жұмыс температурасы, °С	-40~+125
Қорек тоғы, мА	625
Тиімділігі, %	96
Шектік ток, А	1,5
Түрлендіру жиілігі	10 кГц...2МГц
Қысқа тұйықталу және шығыс тізбектегі үзілістен қорғау	+
Қызып кетуден қорғау	+
Төмен кіріс кернеуден қорғау	+



4-сурет. Светодиодқа арналған LM3404HV драйверінің схемасы

нылу ортасы бар. Сондықтан, светодиодты драйверлерді таңдау кезінде осы жағдайларға да мән беріледі.

Texas Instruments компаниясының светодиодты драйверлерін қарастырайық.

Texas Instruments компаниясы әрқилы тағайындалуларға арналған аспаптар үшін светодиодты драйверлердің кең таралған түрлерін ұсынады.

Жоғарыда көрсетілген микросхемалар бір ғана светодиодты төменгі вольтті қорек көзіне қосылатын құрылғыларға жалғауға арналған. Олардың қатарына батареика, аккумуляторларды жатқызуға болады.

**TPS61029.** Бұл драйвер бір светодиодты бірден үшке дейін никель-кадмийлі, сілтілі батареялармен, бір литий-ионды немесе литий-полимерлі аккумуляторлармен қоректенеді. Жоғарылатқыш түрлендіргіші бекітілген жиілікте жұмыс жасайды. Оның негізінде кең импульсті модулятор контроллері жатыр. Ол контроллер синхронды режимде жұмыс істейді, сондықтан ол ПӘК жоғарылатуға мүмкіндік береді. Шығыс кернеудің шамасы сыртқы резистивті бөлгіш арқылы беріледі, бірақ үнсіздік бойынша ішкі кедергімен де анықталады (бұл жағдайда, берілетін шығыс кернеудің мәні максималды мәнге жетеді). Өшірулі күйде болғанда, жүктеме толығымен батареядан сөндіріледі. Микросхема қызып кетпес үшін жабдықталып қорғалған.

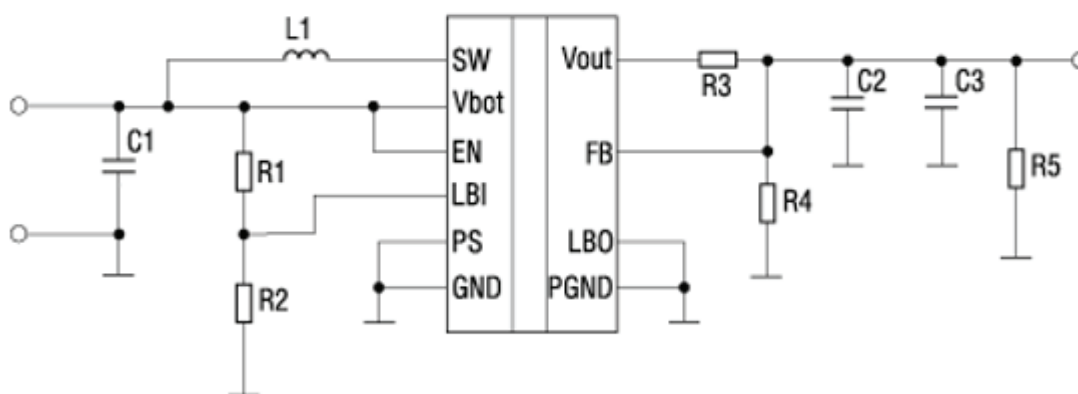
Бұл микросхеманың кемшілігіне сыртқы элементтердің көптігі жатады. Ол өз кезегінде шығынның көп жұмсалуына және осы элементтердің микросхемадағы орындарын үлкейтеді. Микросхемадағы элементтердің саны аспаптың жұмыс істеу жиілігіне әсер етіп, оны баяулатуға әкеліп соғады. Микросхеманың қарапайым, әрі арзан болуы оның басты артықшылықтары болып есептеледі, алайда, схемада мұндай артықшылықтар кездеспейді.

**TPS61070.** Олай болса, драйвердің тағайындалуы TPS61029 микросхемасына сәйкес, бірақ одан қарағанда бірнеше есе аз ток жүктемесіне есептеліп жасалған. Жұмыстық жиілігі екі есеге дейін жоғары, ал артықшылығы аз өлшемдегі индуктивтілікті қолдануға мүмкіндік береді. Микросхемада батареяның кернеу деңгейін бақылауға арналған түйін және қайталама кернеуден сақтайтын схема жоқтың қасы. Сондықтан драйвер негізіндегі құрылғылардың өмір сүру ұзақтығы аз болады. Ал жоғарыдағы микросхемада мұндай шаралар қарастырылған болатын. Дегенмен, осы кемшіліктер құрылғының өлшемдерін азайтуға көмектеседі. Енді бұл микросхеманы қарапайым және қымбат емес қолмен тасымалдап жүретін құрылғыларға арналған.

**TSP61050.** Бұл драйвер I2C-интерфейсі арқылы конфигурацияланатын жоғары қуат-

5 кесте – Texas Instruments компаниясының светодиодты драйверлері

Атауы	Кіріс кернеуі, В	Типі	Активті режимде тұтынатын тоғы, мА	Ұйқы режимінде тұтынатын тоғы, мкА	Жұмыстық жиілігі, кГц
TPS61029	0,9...6,5	Жоғарылатқыш	0,025	0,1	720
TPS61070	0,9...5,5	Жоғарылатқыш	0,019	0,05	1200
TPS61050	2,5...5,5	Жоғарылатқыш	8,5	0,3	2000



5-сурет. TPS61029 микросхемасының қосылуы

ты жоғарылатқыш түрлендіргіші бар. Мұндай драйвер де TPS61029 сияқты жоғары жиілікті синхронды жоғарылатқыш кең импульсті модулятор түрлендіргішіне негізделіп жасалған. Сонымен қатар, жұмыс істеуі үшін TPS61070 сияқты аз жиынтықтарды қажет етеді. Драйверлерді өндірушінің тұжырымы бойынша түрлендіргіштің барлық схемасын 5x5 мм өлшемді платада орналастырылады.

Компанияның барлық өнімдеріне тән нәрсе – жоғары сенімділік, қасиет жобаланатын құрылғылардың қызмет көрсету мерзімдерінің ұзақ болуын білдіреді. Кез келген аспап, құрылғыны таңдауда тұтынушының қоятын талабы да жоғары сенімділік болып табылады. Жоғары ПӘК батареяның жұмыс жасау уақытын, мерзімін жоғарылатуға мүмкіндік береді. Аспаптардың қызмет көрсету мерзімі ПӘК арқылы бағаланатындықтан, светодиодты драйверлерді сатып алардан бұрын көптеген тұтынушылар осы көрсеткіш туралы ақпаратпен танысады. Ал, түрлендірудің жоғарғы жиілігімен шағын құрылғы-

лар құрылады. Себебі, бұл жағдайда, микросхемда аз өлшемді және мөлшерлі жиынтықтар, яғни бөлшектер болады.

Қазіргі таңда ешбір өндіруші осы фирманың драйверлері сияқты артықшылықтарға ие драйверлерді ұсына алмайды.

Светодиодтарға арналған драйверлерді салыстыру үшін олардың тиімділігін анықтайтын есебін қарастырайық. Драйвердің шығысындағы кернеу қуаттың токқа қатынасымен табылады. Мысалы, драйвердің 2 Вт қуатты және 0,4 А токты сипаттамалары бар. Есептік арақатынас 5 В тең, бұл осы түрлендіргіштің шығыс кернеуінің максимальді шамасы.

Егер 5 светодиодты қорек көзін қосу керек болса және олардың әрқайсысының тоғы 5 В кезінде 0,3 А құраса, онда драйверлерді тізбектей жинау кезінде жалпы шығыс кернеу 25 В және ток 0,3 А болады. Ал, параллельді қосылыста 0,3 А ток әрбір светодиодқа бірдей болып таратылады. Яғни, олар қандай токқа есептеліп шығарылса, сондай мөлшердегі токты ғана шығара алады. Мысалы, 0,7 ток мәніне тең

светодиодтарды 0,3 А тең құрылғыға қоссақ, оларға тек жалпы 0,3 А ток беріледі. Мұндай жағдайда тізбектің қосылу схемасы рөл атқармайды. Дегенмен, кез келген мөлшердегі светодиодтар санын өзіне қоса беретін драйверлердің моделі де кездеседі, бірақ драйверлерді қуат бойынша шектейді. Светодиодтардың қуаты драйвердің қуатынан аспайды. Сондықтан, светодиодтардың белгілі санын қосуға негізделген драйверлер де өндіріледі, оларға аз светодиодтарды қосады. Олардың төтенше жағдайлардан сақтық шаралары қарастырылған. Бірақ, бұл драйверлердің тиімділігі төмен, дәлсіз жұмыс істейді, светодиодтар жыпылықтап тұрады немесе мүлдем жанбайды. Сонда драйверге сәйкес емес жүктемелі кернеуді қоссақ, ол тұрақсыз жұмыс істейді.

Дайын схемалар арқылы әртүрлі қуатты светодиодты драйверлерді жинайды. Салыстырма мысал ретінде PowTech қытай өндірісінің PT4115 микросхемасы негізінде жасалған драйвердің схемасы қарастырылады.

Микросхема 1 Вт-тан жоғары светодиодтарды қоректендіруге арналған, жоғары тиімділікке ие және жиынтықтарының саны аз.

Схемада конденсатор маңызды рөл атқарады, бұл жиынтық пульсацияны төмендетеді және транзистор жабылған кезде индуктивтілік орамымен жиналған энергияны компенсациялайды. Ал конденсатор болмағанда, индуктивтіліктің барлық энергиясы жартылай өткізгіш диод арқылы қорек кернеуіне түседі және соған қатысты микросхеманың істен шығу себепкері атанады. Сондықтан микросхеманы кіріс конденсаторсыз қосу ұсынылмайды.

Индуктивтілік светодиодтардың тұтынушылығына байланысты есептеледі. Оның мәнін белгіленген мөлшерден аздап арттырады, бірақ бұл жалпы схеманың ПӘК төмендетеді. Кернеу берілген сәтте және ток резистор арқылы өткенде, индуктивтілік нөлге теңеледі. Ары қарай салыстырғыш резисторға дейінгі және кейінгі потенциалдар деңгейін талдайды, нәтижесінде шығыста жоғары шоғырлану

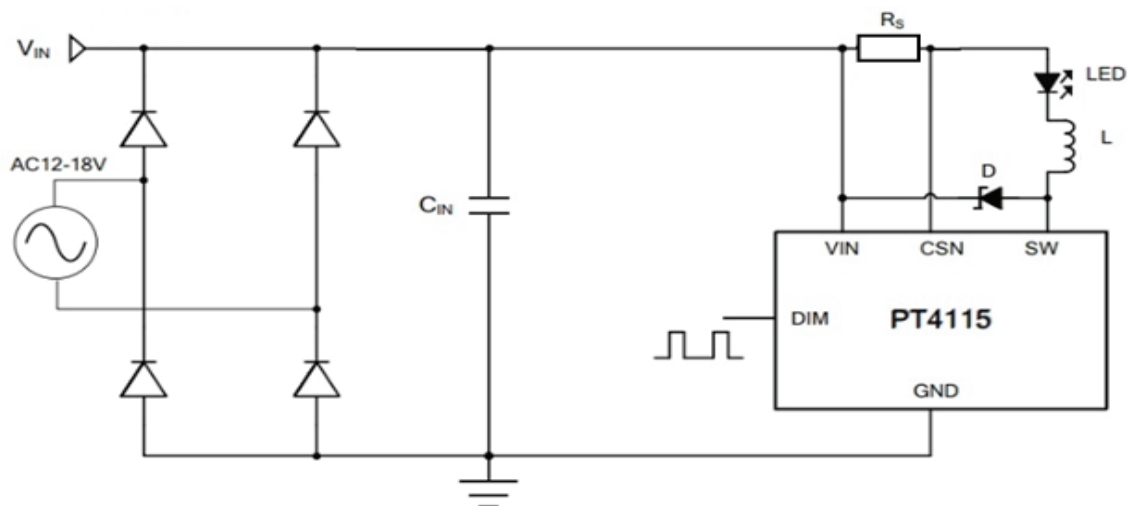
### 6 кесте – PT4115 микросхемасының техникалық көрсеткіштері

Сипаттамасы	Көрсеткіштері
Жарқырауды басқару функциясы	Күнгіртеу
Кіріс кернеу, В	6-30
Тиімділігі, %	97-ге дейін
Күнгіртеуге арналған шықпалары	+
Шығыс токтың шамасы, А	1,2
Жүктеменің айырылыстарынан алдын ала сақтану	+

пайда болады. Кедергі арқылы қадағаланып жүктемеге қарай жүретін ток белгілі бір мәнге дейін өседі. Ал, ток индуктивтілік және кернеу шамаларына тәуелді артады.

PT4115 микросхемасының жиынтықтары өндірушінің нұсқаулықтары бойынша таңдалады. Төмен импедансты конденсаторлар тізбекке жалғанады, өйткені басқа аналогтар драйвердің тиімділігіне кері әсерін тигізеді. Егер құрылғы тұрақты токпен қоректенсе, конденсатордың сыйымдылығы 4,7 мкФ-тан жоғары етіп алынады. Егер ток

айнымалы болса, қатты, сыйымдылығы 100 мкФ-тан төмен емес конденсатор қолданылады. Орамның индуктивтілігі 68 мкГн-ге тең. Оны өз қолыңмен жасау үшін істен шыққан компьютердің сақинасы мен орам сымын пайдаланады. Диодтың параметрлері: сыйымдылығы 15 пФ, жұмыс температурасы -65...150°C, 30 А дейінгі ток импульсін көтере алады. Резистордың мәні светодиодқа қажетті токтың шамасымен есептеледі. Схемадағы оның мәні 0,13 Ом тең, сәйкесінше ток 780 мА.



6-сурет. PT4115 микросхемасы негізіндегі светодиодты драйвер

Осылайша, светодиодты драйверлерді таңдамас бұрын, алдымен, оның қосылу схемасына мән беріледі. Яғни, светодиодты емес, светодиодты драйверлерді таңдауға ерекше көңіл бөлінеді. Өйткені кез келген драйвердің қуаты светодиодтікіне сәйкес келе бермейді немесе оны қорек көзімен қамтамасыз етуге қуаты жетпеуі мүмкін. Бұл жағдай драйвердің істен шығуына алып келеді. Светодиодты драйверлердің ең басты талабы – қорек көзі.

Сонымен, светодиодты драйверлерді салыстыра келе, ең сенімді драйвердің көрсеткіштері мыналар болып табылады: жоғары ПӘК; жоғары сенімділігі; жұмыстық жиілігінің өте жоғары болмауы; ал өте жоғары болған жағдайда, схемадағы жиынтықтардың саны тиісінше аз болады; қорек көзінің тұрақтылығы; сондай-ақ қарапайымдылығы, қолжетімділігі, арзандылығы жатады.

### Қорытынды

Мақалада светодиодты драйверлердің түрлері, олардың сипаттамалары бойынша салыстырулар жүргізілді. National Semiconductor драйверлерінің тиімділік және қауіпсіздік негізгі көрсеткіштері бойынша үшінші типті светодиодты драйверлердің артықшылықтары көп.

Ал Texas Instruments компаниясының светодиодты драйверлерін салыстыра келе, үшінші типті светодиодты драйвер басқа екеуіне қарағанда сенімділігі жоғары. Себебі онда, кемшіліктеріне қарағанда, алғашқы екеуінің артықшылықтары басым. Мысалы, ПӘК үлкен және схемадағы жиынтықтардың аз орынды алуы.

Сонымен қатар, қытай өндірісінің PT4115 микросхемасы негізінде жасалған светодиодты драйвердің тиімділігі мен сенімділігі жоғары, микросхемадағы жиынтықтардың ыңғайлы орналасуына байланысты ұзақ қызмет көрсетеді және жұмыстық жиілігі кең.

Светодиодты қуат көзі жарықтандырушы аспаптарда светодиодтар сияқты маңызды рөл атқарады. Светодиодты драйвер шамдардың сенімділігін, қызмет көрсету мерзімін, жалпы тиімділігін анықтайды.

Қазірде арзан бағалы, пайдасы жоғары, өзінің сапалық және функционалдық сипаттамаларын сақтай отырып, аз өлшемді болып келетін светодиодты қорек көздерінің әзірлемесін дайындау өзекті тапсырмалардың бірі болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР

1. <http://ledno.ru/>.
2. <http://diode-system.com/>.
3. <http://www.ti.com/>.
4. Hwu K. I., Yau Y. T., and Li-Ling L., «Powering LED Using High-Efficiency SR flyback Converter». Industry Applications, IEEE Transactions on, vol. 47, pp. 376-386, 2011.
5. Dianbo F., Ya L., Lee F. C., and Ming X., «A Novel Driving Scheme for Synchronous Rectifiers in LLC Resonant Converters». Power Elec-tronics, IEEE Transactions on, vol. 24, pp. 1321-1329, 2009.
6. Цветков Д. Новые высокоэффективные DC/DC-преобразователи. Современная электроника, № 8, 2007.
7. <http://mustbuilding740.weebly.com/>.
8. Business Wire, 2010 Worldwide High-Brightness LED Market Grew 93 Percent According to Strategies Unlimited, <http://www.businesswire.com/>.
9. U. S. Department of Energy, SSL Research and Development Multi-Year Program Plan Mar 2011 (Updated May 2011), <http://apps1.eere.energy.gov/>.

УДК 539.216.1, 621.039.6  
МРНТИ 29.19.22, 29.27.51

## ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ МИШЕНИ ИМПУЛЬСНЫМИ ПОТОКАМИ ПЛАЗМЫ

А.М. ЖУКЕШОВ<sup>1,2</sup>, А.Т. ГАБДУЛЛИНА<sup>1</sup>, А.У. АМРЕНОВА<sup>1</sup>,  
М. МУХАМЕДРЫСҚЫЗЫ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский Национальный университет университет им. аль-Фараби

<sup>2</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа

**Аннотация:** В работе показано, что при распылении графитовой мишени импульсным потоком плазмы формируются сферические наночастицы из соединений железа с углеродом – карбид железа. Полученные данные позволяют разработать новый метод синтеза нанокмпозитов с заданными свойствами для медицины, электроники и других областей. Используемый способ открывает возможность управляемого синтеза многофункциональных нанокмпозитов путем вариации параметров плазменного потока. Практическое значение исследований по получению наночастиц из карбида железа с углеродной оболочкой актуально в связи с их применением в медицине. Поскольку частицы содержат железное ядро, ими можно управлять с помощью магнитного поля, а нетоксичная углеродная оболочка делает их безопасными для человека.

**Ключевые слова:** сферические наночастицы, импульсные плазменные потоки, плазменное распыление, нержавеющая сталь, карбид железа, графитовая мишень

## THE FORMATION OF NANOSIZED SPHERICAL PARTICLES BY SPUTTERING TARGET WITH PULSED PLASMA FLOWS

**Abstract:** In the article, it is shown that spherical nanoparticles of iron and carbon compounds – iron carbide are formed by sputtering a graphite target with a pulsed plasma flow. The obtained data allow developing a new method for the synthesis of nanocomposites with desired properties for medicine, electronics, and other fields. The method used open up the possibility of controlled synthesis of multifunctional nanocomposites by varying parameters of the plasma flow. The practical significance of research on obtaining iron carbide nanoparticles with carbon shell is relevant in connection with their use in medicine. Since the particles contain an iron core, they can be controlled by a magnetic field, and the non-toxic carbon shell makes them safe for humans.

**Keywords:** spherical nanoparticles, pulsed plasma flows, plasma sputtering, stainless steel, iron carbide, graphite target

## НАНОӨЛШЕМДІ СФЕРАЛЫҚ БӨЛШЕКТЕРДІ НЫСАНДЫ ИМПУЛЬСТІ ПЛАЗМА АҒЫНДАРЫМЕН ТОЗАҢДАТУ АРҚЫЛЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ

**Аңдатпа:** Мақалада графитті нысанды импульсті плазма ағындарымен тозаңдатқанда, темір мен көміртегі қосылысы – темір карбидінен тұратын сфералық нанобөліктер құралатындығы көрсетілген. Алынған мәліметтер медицина, электроника және де басқа салаларға арналған берілген қасиеттерге ие нанокмпозиттерді синтездеудің жаңа әдісін жетілдіруге мүмкіндік береді. Қолданылатын әдіс плазма ағыны параметрлерін түрлендіру арқылы көпфункционалы нанокмпозиттерді басқарылатын синтездеуге жол ашады. Көміртекті қабықшасы бар темір карбидінен тұратын нанобөліктерді алу бойынша зерттеу жұмыстарының практикалық маңыздылығы әсіресе медицинада пайдаланылуымен өзекті. Бөліктер құрамы темір ядродан тұратындықтан, магнит өрісі арқылы басқаруға болады, ал залалсыз көміртекті қабықшасы оларды адам ағзасына қатерсіз етеді.

*Түйінді сөздер:* сфералық нанобөліктер, импульсті плазмалық ағындар, плазмалық тозаңдату, тот баспайтын болат, темір карбиді, графитті нысана

### Введение

При плазменной обработке следует различать два разных метода воздействия потока плазмы на образец-мишень. В первом случае поверхность образца подвергается плавлению и последующему радиационному охлаждению. При этом плавится тонкий поверхностный слой толщиной в десятки микрон. Поэтому в данном случае происходит модификация структуры поверхности с образованием наноразмерных дефектов. Другой метод – распыление материала мишени и одновременное осаждение на рядом стоящую подложку. В этом случае поверхность мишени также расплавляется, но поверхность подложки – нет. Подложки располагаются несколько в стороне от пучка и продукты эрозии мишени осаждаются на ее поверхность. В этом случае мы ожидаем осаждения нанопыли из поверхностной плазмы. Данный способ отличается от уже известных методов получения нанокомпозитов путем распыления катода в дуговом разряде, лазерной абляции и химического способа получения нанокompозитов [1].

Изучение процессов распыления конструкционных материалов при воздействии на них импульсных плазменных потоков представляет собой актуальную задачу как для развития представлений о физических механизмах распыления в нестационарных условиях, так и для практических приложений. Известно, что распыление пучками ионов в стационарном режиме в направлении угла отражения происходит достаточно интенсивно, однако скорости распыления невелики [2]. В то же время, для импульсных потоков характерны большие плотности тока, что может приводить к интенсивному испарению материала мишени [3]. В этом случае речь идет уже не о классическом распылении, а об испарении потоком плазмы и осаждении из приповерхностной плазмы. Таким образом появляется возможность потоком плазмы испарять поверхность тугоплавких материалов, например, графита, и затем осаждавать продук-

ты испарения при естественном охлаждении короткоживущей импульсной плазмы.

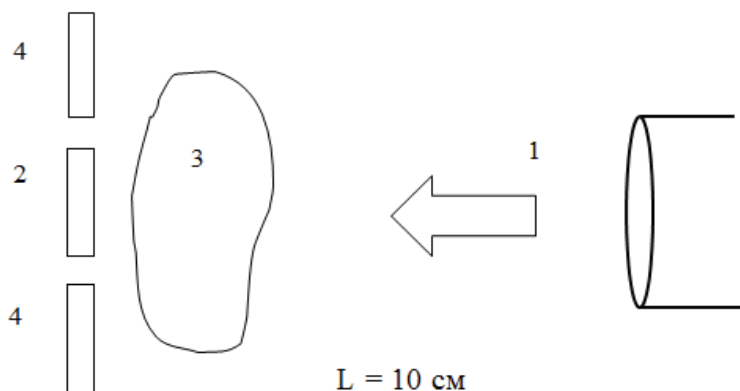
### Эксперимент

В настоящей работе генератором импульсных плазменных потоков является ускоритель с коаксиальной геометрией электродов КПУ-30 [4], используемый в режиме со сплошным наполнением [5]. КПУ формирует потоки плазмы со скоростями  $(10 - 100) \cdot 10^3$  м/с и высокой плотностью кинетической энергии ионов от  $\sim 100$  эВ до 10 кэВ при длительности импульса  $\sim 7$  мкс. Плотность потока и эффективность воздействия зависят от условий, при которых проводится обработка мишени. В качестве материалов для исследования были выбраны нержавеющая сталь марки AISI 201 в качестве подложки, а графитовый электрод в качестве мишеней.

В КПУ плазма формируется при импульсном разряде (при низком давлении) между двумя цилиндрическими электродами, когда выполняется условие для высоковольтного пробоя. Энергия для разряда поставляется от емкостного накопителя, рабочий газ вводится через электродинамический газовый клапан, зафиксированный на оси электродов. Для данного устройства возможны два режима работы, в зависимости созданных для разряда газа условий. Первый – режим с импульсным напуском газа, при котором регулируется время задержки между моментами запуска газа и подачи высокого напряжения на электроды. В данном режиме вариацией задержки возможно получение очень горячих, но неоднородных сгустков плазмы. Регулирование плотности энергии плазменного сгустка в определенных пределах возможно управлением напряжением зарядки батарей. Второй режим – с предварительным наполнением рабочей камеры газом до давления, при котором возможен его пробой. В этом режиме регулированием давления возможно получение сгустков с энергией и скоростью в широком диапазоне. В обоих режимах плотность энер-

гии плазменного потока находится в диапазоне 5-60 Дж/см<sup>2</sup>. В режиме с импульсным напуском при малых временах задержки имеет место эрозия дуги электродов, когда ионы и нейтралы материала электрода присутствуют в плазме. В экспериментах, проводимых на КПУ-30, диаметры внешнего и внутреннего электродов были 90 и 24 мм соответственно. Высоковольтный импульс, прикладываемый на электроды, получали от емкостного накопителя энергией от 3 до 30 кДж. На расстоянии более 15 см от конца электродов получена однородность плазменных потоков 20-30%. С точки зрения технологического режима на таких ускорителях возможны два варианта технологии: 1 – режим с плазменной обработкой и 2 – режим с плазменным напылением.

В данной работе использовали второй способ обработки (рисунок 1) для распыления графитовой мишени и осаждения из плазмы на поверхность стальной подложки. Для распыления мишени при воздействии на них горячих импульсно-плазменных потоков (ИПП) применяли режим работы ускорителя при остаточном давлении ~ 0,1 Торр. В этом режиме энергия плазменного сгустка, формируемого в КПУ-30, составляла 25, 30 Дж/см<sup>2</sup>. При такой энергии основными видами эрозии для всех материалов мишеней являлось плавление и испарение. Материал мишени испарялся, смешивался с плазмой и осаждался на поверхности подложек. Анализ продуктов эрозии производился после 1, 5 и 10 импульсов.



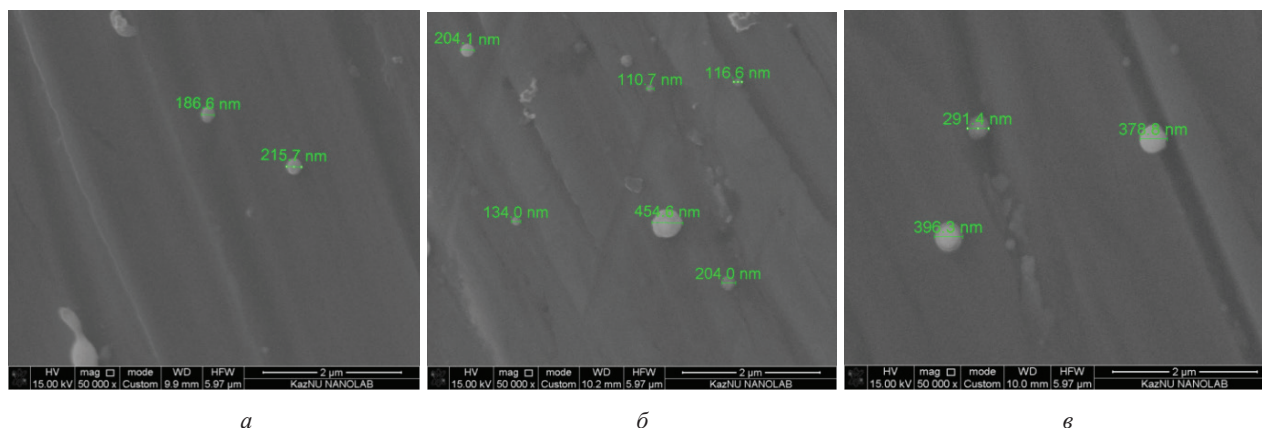
1 – поток плазмы, 2 – мишень, 3 – поверхностная плазма, 4 – подложки  
Рис. 1 – Схема проведения экспериментов по распылению графита

### Результаты и их обсуждение

Распыленный потоками горячей плазмы на установке КПУ-30 материал мишени – графит, был осажден на поверхности подложек из нержавеющей стали. При проведении диагностики поверхности материалов металлографическим и сканирующим электронным микроскопами, было выяснено, что продукты эрозии были представлены в виде тонких пленок, пыли и шаровидных образований (рисунок 2). Как видно из рисунка 2, на поверхности образуется тонкая пленка и на ней располагаются шаровидные образования. Размер шаровых образований на образцах варьируется от 110 до 450 нм. Таким образом, можно предположить, что в результате распыления материала мишени на подложках образуется тонкая пленка и углеродная нанопыль.

Из анализа результатов можно сделать вывод, что на ускорителе КПУ всегда присутствуют эрозия материалов как мишени, так и подложки, которые, попадая в плазму, осаждаются на их поверхности. По параметрам энергии ускоритель КПУ может обеспечить достаточно эффективное распыление материалов, но для нанесения толстых слоев, не содержащих пыль, необходимо найти оптимальное давление при использовании сплошного режима.

Результаты спектрального анализа на участках подложек и непосредственно шаровидных образований приведены в таблице 1. Анализ результатов показывает, что содержание углерода на поверхности подложек постепенно увеличивается с ростом коли-



а) поверхности стальных подложек после 1 импульса, б) после 5 импульсов, в) после 10 импульсов  
 Рис. 2 – Поверхность подложек после воздействия ИПП

чества обработок от 2.69% (масс.) до 9.19%, а содержание железа падает от 80,29% до 75,4%. Увеличение количества углерода объясняется распылением материала мишени и переносом плазмы на поверхность подложки, т.е. на подложке формируется слой углерода.

Что касается железа, его уменьшение можно объяснить тремя причинами: 1) распылением поверхности подложки налетающей плазмой; 2) железо плохо видно анализатором из-за пленки углерода на поверхности; 3) железо собралось в шаровидных образованиях.

**Таблица 1 – Состав поверхности подложек из стали после обработки горячей плазмой**

Кол. обр.	C, масс. %	Fe, масс. %	Примечание
1	2,69	80,29	на поверхности
	7,35	78,13	на шаровидном обр.
5	4,00	78,91	на поверхности
	6,24	77,21	на шаровидном обр.
10	9,19	75,4	на поверхности
	13,5	74,0	на шаровидном обр.

По результатам анализа мы можем утверждать, что шаровидные частицы представляют собой смесь железа с углеродом, т.е. карбид железа. Причем, количество углерода в них изменяется в пределах 7.35%, 6.24% и 13.19% соответственно, т.е. они становятся более углеродными, а количество железа уменьшается. Таким образом, количество обработок напрямую связано с химическим составом шаровидных образований, и в некоторых пределах ими можно управлять. Следует отметить, что ранее шаровидные образования наблюдались на поверхности графитовых мишеней, обработанных на этом же ускорителе потоками импульсной плазмы. Однако для

окончательного выяснения структуры шаровидных частиц требуется рентгеноструктурный анализ, который сейчас проводится.

### Заключение

Полученные результаты открывают возможности управляемого синтеза многофункциональных нанокмозитов, путем вариации количества обработок. Мы продолжаем работу в этом направлении и уже планируем эксперимент, в котором будет варьироваться энергия потока в более широком диапазоне. Такой подход может дать новые результаты, например, состав наночастиц может измениться.

*Работа выполнена в рамках проекта МОН РК №AP05130108.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Лозовик Ю.Е., Попов А.М. (1997). Образование и рост углеродных наноструктур – фуллеренов, наночастиц, нанотрубок и конусов. *Успехи физических наук.* – Т. 167. – №7. – С. 751-774.
2. Морозов А.И. (2006). Введение в плазмодинамику. – Москва, Физматлит. – 576 с.
3. Langner, J., Piekoszewski, J., Werner, Z., Tereshin, V.I., Chebotarev, V.V., Garkusha, I., Walís, L., (...), Grabias, A. (2000), “Surface modification of constructional steels by irradiation with high intensity pulsed nitrogen plasma beams”, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 128-129, pp. 105-111.
4. Baimbetov, F.B., Zhukeshov, A.M., Amrenova, A.U. (2007), “Dynamics of plasma flow formation in a pulsed accelerator operating at a constant pressure”, *Technical Physics Letters*, Vol. 33, pp. 77-79.
5. Zhukeshov, A.M., (2009), “Plasma flow formation in a pulse plasma accelerator in continuous filling regime”, *Plasma Devices and Operations*, Vol. 17, pp. 73-81.

УДК 621.01  
МРНТИ 30.15.35

## ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ МЕХАНИЗМА НОГИ ДЛЯ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ

С.М. ИБРАЕВ, Г.А. АЙДАШЕВА<sup>1</sup>, Н.К. ДЖАМАЛОВ, А.С. ИБРАЕВ<sup>1</sup>,  
Г.М. МУХАМБЕТКАЛИЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова КН МОН

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

**Аннотация:** Рассматривается задача оптимального синтеза механизма опорно-двигательного механизма шагающей машины на основе плоского рычажного механизма, чертящая точка которого (центр стопы) генерирует семейство горизонтальных прямых линий. Предложено аналитическое решение аппроксимационной задачи квадратического приближения, которое позволяет существенно уменьшить размерность численной оптимизации. Предложены две кинематические схемы опорно-двигательного механизма, соответствующие двум локальным минимумам задачи. Использование предлагаемых механизмов позволяет существенно упростить управление и снизить энергозатраты.

**Ключевые слова:** шагающая машина, регулируемый механизм, прямолинейно-направляющий механизм, аппроксимационный синтез, квадратическое приближение

## OPTIMAL SYNTHESIS OF LEG MECHANISM FOR WALKING VEHICLE

**Abstract:** The problem of the optimal synthesis of walking vehicle leg mechanism is considered based on planar linkage generating a family of parallel horizontal straight lines. The analytical solution is derived for least-square approximation problem that allows to reduce essentially the dimensionality of numerical optimization task. Two alternative designs have been proposed that correspond to two local minimums of the problem. The use of the proposed mechanisms can significantly simplify management and reduce energy costs.

**Keywords:** walking machine, adjustable mechanism, rectilinear-guiding mechanism, approximation synthesis, quadratic approximation

## АЯҚПЕН ЖҮРЕТІН МАШИНАНЫҢ АЯҚ МЕХАНИЗМІН ТИІМДІ СИНТЕЗДЕУ

**Аңдатпа:** Сызғыш нүктесі (табанның ортасы) көлденең түзу сызықтардың отбасын құрайтын жазық иінтіректі механизм негізінде аяқпен жүретін машинаның тірек-қимыл механизмiнiң оңтайлы синтезiнiң есебi қарастырылады. Квадраттық жақындаудың аппроксимациялық есебiнiң аналитикалық шешiмi ұсынылды, ол сандық оңтайландырудың өлшемiн айтарлықтай азайтуға мүмкiндiк бередi. Екi жергiлiктi минимумға сәйкес келетiн тірек-қимыл механизмiнiң екi кинематикалық схемасы көрсетiлдi. Аталған тетiктердi пайдалану басқаруды айтарлықтай жеңiлдeтуге және энергия шығынын азайтуға жағдай тугызады.

**Түйiндi сөздер:** аяқпен жүретiн машина, реттелетiн механизм, түзу сызықты-бағыттаушы механизм, аппроксимациялық синтез, квадраттық жақындау

### Введение

Как известно, использование прямолинейно-направляющих механизмов позволяет существенно упростить привод ноги шагающих транспортных средств [1-9]. В работе

рассматривается задача оптимального синтеза механизма опорно-двигательного механизма шагающей машины на основе плоского рычажного механизма, чертящая точка которого (центр стопы) генерирует семейство горизонтальных прямых линий. Задача синтеза сформулирована как аппроксимационная задача квадратического приближения и предложено её аналитическое решение, которое позволяет существенно уменьшить размерность последующей численной оптимизации. Обсуждаются численные результаты. Предложены две кинематические схемы опорно-двигательного механизма, соответствующие двум локальным минимумам задачи.

#### **Использование прямолинейно-направляющих механизмов в движителях шагающих машин**

Традиционные мобильные роботы шагающего типа с активным согласованием движения двигателей имеют сложную иерархическую систему управления, работа двигателей в режимах интенсивного разгона-торможения обуславливает неоправданно низкий КПД [1-3, 8, 9]. Нерациональность структурного решения большинства шагающих роботов связана со структурной избыточностью и многократной статической неопределённостью: количество активных приводов в таких системах гораздо больше числа степеней свободы системы. Так, например в шагающих роботах типа Нехарод (в которой каждая нога приводится в движение тремя приводами) при походке «трёшкой» число степеней свободы равно шести, в то время как активных приводов – 9. (Это с учётом только «опорных» ног; если же все ноги находятся в фазе опоры, то число активных приводов – 18, а число степеней свободы системы – 6). Вследствие этого в двигателях возникают паразитные нагрузки (двигатели работают «друг против друга»), увеличиваются реакции в шарнирах, проскальзывание стоп и т.д. Альтернативным в отношении «биоморфных» конструкций является подход, основанный на отказе от универсальности в пользу оптимальных характеристик движения, повышения КПД и прос-

тоты управления путем разделения функций двигателей, когда каждый привод имеет конкретное функциональное назначение [2, 3, 6-9]. Так, например, использование опорно-двигательных механизмов ортогонального типа позволяет добиться кинематической развязки движения и разделения функций двигателей, когда основной двигатель отвечает за прямолинейно-поступательное движение корпуса, другая группа приводов – за адаптацию к неровностям пересеченной местности. Это позволяет минимизировать количество основных двигателей, участвующих в системе управления, так как система адаптации на неровности несущей поверхности работает независимо от основного блока управления, причём адаптация каждой ноги осуществляется индивидуально и координация их работы не требуется.

Кроме того, в копирующих или ортогональных движителях реализован принцип гравитационной независимости приводов, когда основное прямолинейное поступательное перемещение корпуса машины осуществляется основным двигателем, а весовая нагрузка со стороны корпуса ложится лишь на устройство запирания двигателя. Однако недостаток существующих движителей указанного типа состоит в использовании возвратно-поступательных приводов. Широко используются копирующие механизмы пантографного типа: шестиногий шагающий робот Adaptive Suspension Vehicle университета штата Огайо [9], шагающий аппарат профессора Шигео Хироэ (Технологический институт Токио), профессора Марко Чеккарелли и др. Преимуществами такой схемы являются достаточно простое решение для регулирования высоты траекторий, линейное передаточное отношение между обобщёнными координатами механизма и декартовыми координатами опорной точки. Однако к недостаткам таких конструкций относятся значительные силовые воздействия на задающие органы, использование поступательных пар, нагруженных поперечной нагрузкой. Этим обусловлен повышенный интерес к шарнирно-рычажным механизмам, генерирующим

прямолинейные траектории (точно или приближенно) [6,7]. Сама идея использования прямолинейно-направляющих механизмов не является новой [2,3], однако, несмотря на большое разнообразие таких прямил, требование адаптивности к неровностям пересеченной местности делает большинство из них непригодными для практического использования в движителях шагающих машин. Так, точные прямолинейно-направляющие механизмы инверсоров Поселье-Липкина, Гарта и других, более сложные, плохо поддаются регулировке.

Предлагаемый механизм ноги представляет собой регулируемый плоский четырёхзвенный шарнирно-рычажный механизм с изменяемой длиной входного звена: путём регулирования длины этого звена обеспечивается адаптация ноги к неровностям опорной поверхности и изменение высоты шасси (рис. 1). Использование таких механизмов позволяет разработать рациональную конструкцию шагающей машины с функционально независимыми приводами, существенно упростить управление и снизить энергозатраты.

Для синтеза механизмов на основе модульного принципа [2, 4, 5] вида структура механизма и его кинематические параметры рассматриваются как состоящие из двух частей: варьируемая кинематическая цепь  $EDP$  и аппроксимирующая цепь  $ABC$ . Если считать заданными на выходе не семейство кривых, а одну траекторию, то для синтеза механизма с одной степенью свободы задача сводится к синтезу бинарного (двухэлементного) звена  $AC$ . При заданных размерах  $Q = [\zeta_E, \eta_E, l_{ED}, l_{DP}]^T$  звеньев  $ED$  и  $DP$  путём анализа положений двухповодковой цепи  $EDP$  можно легко определить положения звена  $DP$ . Тогда задача синтеза четырёхзвенного механизма будет сведена к поиску круговой квадратической точки  $C$  на плоскости звена  $DP$ . Параметрами синтеза являются локальные координаты радиус-вектора  $r_C^{(3)}$  центра шарнира  $C$  (круговой точки) на плоскости  $Px_3y_3$  (рис.2), жёстко связанной со звеном  $DP$ , координаты радиус-вектора шарнира  $A$  – центра отыскиваемой окружности на неподвижной плоскости  $O\xi\eta$ , а также радиус окружности  $R = l_{AC}$ .

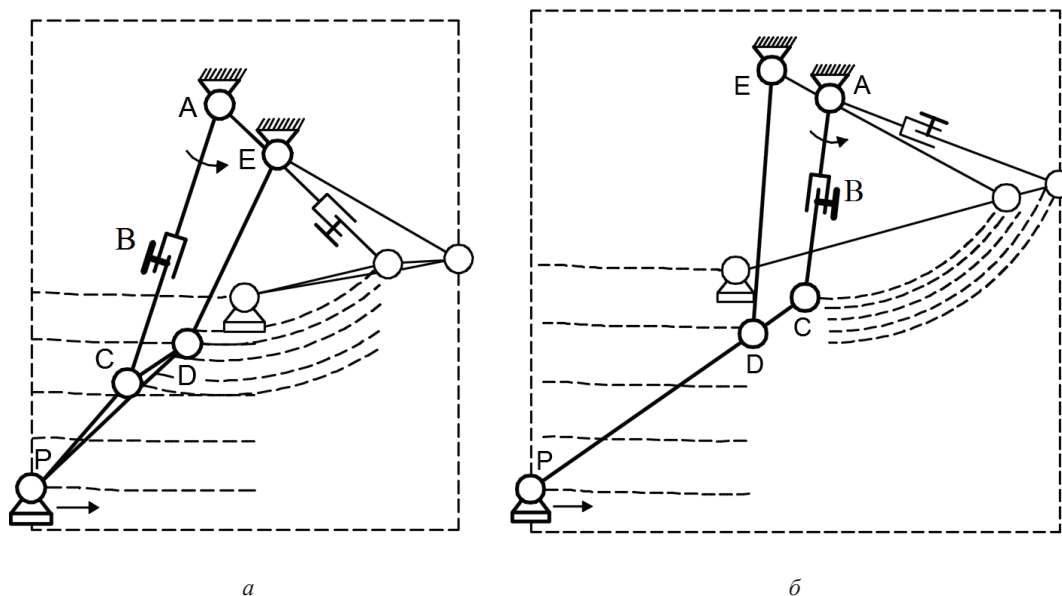


Рис. 1 – Механизмы ноги шагающей машины с регулируемой высотой шасси

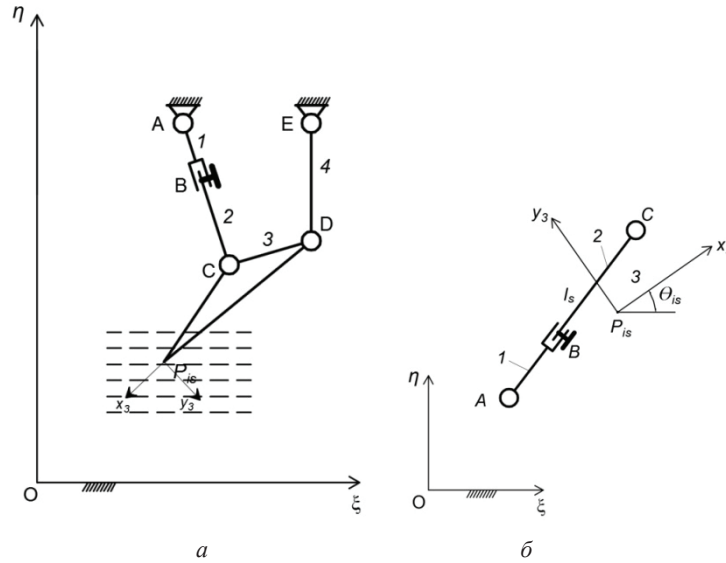


Рис. 2 – К синтезу регулируемого механизма на основе круговой точки

Но в случае задания не одного, а семейства программных траекторий, аналогом задачи поиска круговой квадратической точки будет задача синтеза RPR-модуля  $ABC$  ( $R$  обозначает вращательную,  $P$  – поступательную кинематическую пару), а переменный радиус круговой точки (переменная длина синтезируемого бинарного звена) выступит как параметр семейства. Пусть желаемое движение стопы  $P$  задано в виде семейства прямых  $t_s$ ,  $s=1, \dots, S$ , параметром семейства выступает длина  $l_{AC} = l_s$ , которая постоянна на каждой  $s$ -ой траектории. Если на каждой из траекторий требуется воспроизвести  $N$  равноудалённых точек, тогда выходное движение задано  $N \cdot S$  точками  $P_{is}$ ,  $i=1, \dots, N$ ,  $s=1, \dots, S$ , т.е. считаем заданными координаты  $[\xi_{P_{is}}, \eta_{P_{is}}]$  относительно неподвижной системы координат  $O\xi\eta$  (рис.2). Положения плоскости  $Px_3y_3$  относительно  $O\xi\eta$  определяются  $S$  набором из  $N$  положений  $\{\xi_{P_{is}}, \eta_{P_{is}}, \theta_{is}\}$ ,  $i=1, \dots, N$ ,  $s=1, \dots, S$ .

Основное уравнение связи для кинематической цепи  $ABC$  вида RPR имеет вид:

Введём обозначения

$$p_s^{(1)} = 0,5 \cdot (R_A^2 - l_s^2), \quad p_s^{(2)} = 0,5 \cdot (r_C^2 - l_s^2), \quad s = 1, \dots, S$$

$$p_{S+1} = \xi_A, \quad p_{S+2} = \eta_A, \quad p_{S+3} = x_C^{(3)}, \quad p_{S+4} = y_C^{(3)}$$

Тогда последнее выражение записывается в виде

$$0,5 \cdot \Delta_{is}^{(k)} = p_S^{(k)} + a_{is}^{(k)} p_{S+1} + b_{is}^{(k)} p_{S+2} + c_{is}^{(k)} = 0, \quad i = 1, \dots, N; \quad s = 1, \dots, S$$

$$\Delta_{is} = (R_{P_{is}} + \Gamma(\theta)r_C^{(3)} - R_A)^2 - (l_{AC})_S^2 = 0 \quad (1)$$

Это означает, что точка  $C$  должна лежать на концентрических окружностях с радиусами  $l_s = (l_{AC})_s$ . Здесь  $\Gamma(\theta)$  – матрица вращения,  $\Delta$  – ошибка аппроксимации. При заданных  $\xi_{P_{is}}, \eta_{P_{is}}, \theta_{is}$ ,  $i=1, \dots, N$ ,  $s=1, \dots, S$ , задача синтеза состоит в определении параметров:  $\xi_A, \eta_A$  – абсолютных координат шарнира  $A$ ;  $x_C^{(3)}, y_C^{(3)}$  – локальных координат шарнира  $C$  в плоскости  $Px_3y_3$ ; и значений  $l_s$ ,  $s=1, \dots, S$ , при которых приближенно удовлетворяются уравнения (1) для любых  $i=1, \dots, N$ ,  $s=1, \dots, S$ .

Ошибка аппроксимации  $\Delta$  может быть выражена в виде

$$\Delta_{is}^{(1)} = -2R_{C_{is}}^T R_A + (R_A^2 - l_s^2) + R_{C_{is}}^2 \quad (2)$$

$$\Delta_{is}^{(2)} = -2r_{A_{is}}^T r_C + (r_C^2 - l_s^2) + r_{A_{is}}^2 \quad (3)$$

где  $R_{C_{is}} = R_{P_{is}} + \Gamma(\theta)r_C^{(3)}$ ,  
 $r_{A_{is}} = \Gamma^T(\theta_{is})(R_A - R_{P_{is}})$ .

где  $k=1$  или  $2$ . Выражения для  $a_{is}^{(1)}, b_{is}^{(1)}, c_{is}^{(1)}$  через  $r_C, R_{P_{is}}, \theta_{is}$  и для  $a_{is}^{(2)}, b_{is}^{(2)}, c_{is}^{(2)}$  через  $R_A, R_{P_{is}}, \theta_{is}$  можно легко вывести из (2) и (3) соответственно.

Таким образом, уравнения (1) приведены к линейным  $NS$  уравнениям по параметрам

$$P^{(1)} = [p_1^{(1)}, \dots, p_S^{(1)}, p_{S+1}, p_{S+2}]^T \text{ и } P^{(2)} = [p_1^{(2)}, \dots, p_S^{(2)}, p_{S+3}, p_{S+4}]^T \quad (5)$$

$$A^{(k)}P^{(k)} = -b^{(k)}, \quad k = 1, 2$$

Здесь

$$A^{(k)} = \left[ \left[ D_1^{(k)} \right] \left[ D_2^{(k)} \right] \dots \left[ D_S^{(k)} \right] \right]^T, \quad \dim A^{(k)} = NS \times (S+2), \quad \dim D_s^{(k)} = (S+2) \times N, \quad s=1, \dots, S;$$

Вектор  $e_s$  – это  $S$ -мерный единичный вектор с компонентами  $e_{\mu s} = \delta_{\mu}^s, \mu=1, \dots, S$ . Вектор  $b^{(k)}$  – это  $NS$ -размерный вектор  $b^{(k)} = [b_1^{(k)T}, b_2^{(k)T}, \dots, b_S^{(k)T}]^T$ , причём  $b_s^{(k)} = [c_{1s}^{(k)}, c_{2s}^{(k)}, \dots, c_{Ns}^{(k)}]^T, s=1, \dots, S$ .

определяется как минимум Евклидовой нормы функции аппроксимации  $\Delta = AP + b$

$$f \equiv \|\Delta\|_2^2 = \Delta^T W^T W \Delta \quad (7)$$

Если  $S \geq 2$  и  $N \geq 3$  (заданы не менее 2 серии с не менее 3 положениями на каждой серии), то число уравнений  $NS$  в (5) больше, чем неизвестных  $(S+2)$  (для  $S(N-1) > 2$ ). Тогда получим приближенное решение в виде

### Заключение

Использование регулируемых прямолинейно-направляющих механизмов в приводе ноги шагающих машин позволяет разработать рациональную конструкцию шагающей машины с функционально независимыми приводами. Предлагаемый простой механизм адаптации ноги к неровностям опорной поверхности позволяет существенно упростить управление и координацию ног, а также снизить энергозатраты за счёт гравитационной независимости основного двигателя.

$$P^{(k)} = -A_p^{(k)-1} b^{(k)}, \quad (6)$$

где  $A_p^{-1} = [A^T W^T W A]^{-1} A^T W^T W$  «левая псевдо-инверсия матрицы  $A$ » [2],  $W$  – диагональная матрица  $\text{diag}\{w_1, w_2, \dots, w_{NS}\}$  весовых коэффициентов;  $\dim W = NS \times NS$ . Решение  $P_0$

### ЛИТЕРАТУРА

1. Брискин Е.С., Шаронов Н.Г., Фоменко С.С. (2013) Реконфигурируемый транспортный комплекс со сдвоенными шагающими движителями. Известия Волгоградского государственного технического университета: Межвуз. сб. науч. ст. № 24(127). – С. 10-14.
2. Ибраев С.М. (2014) Аппроксимационный синтез рычажных механизмов: Методы и численная реализация. – Алматы. – 356 с.
3. Умнов Н.В. Особенности механизмов шагающего типа для использования их в нетрадиционном транспорте. – Энциклопедия машиностроения в сорока томах. – Часть 2. – Том 1. – Глава 11. – М.: Машиностроение, 1996.
4. Baigunchekov Zh., S. Ibrayev, M. Izmambetov. (2018). Synthesis of reconfigurable positioning parallel manipulator of a class RoboMech. 4th IEEE/IFToMM International conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots, Delft University of Technology, The Netherlands.
5. Ibrayev S.M., Jamalov N. (2002) Approximate Synthesis of Planar Cartesian Manipulators with Parallel Structures.- Int. Journal Machine and Mechanism Theory, Elsevier, №37, 2002. p. 877-894
6. Kim, H., Choi, J. (2015), Optimal Design of Klann Based Walking Mechanism for Water-Running Robots. – Proceedings of the 14th IFToMM World Congress on TMM, Taipei, Taiwan, October 25 – 30.

7. Plecnik, Mark & McCarthy, J. (2016). Design of Stephenson linkages that guide a point along a specified trajectory. *Mechanism and Machine Theory*. 96. 38-51. 10.1016/j.mechmachtheory.2015.08.015.
8. Ryan, A.D., and Hunt, K.H. (1985). Adjustable Straight-Line Linkages – Possible Legged Vehicle Applications. *Transactions of ASME: Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design*. Vol.107. 256 – 261.
9. Song, S.M., Waldron K.J. *Machines That Walk: The Adaptive Suspension Vehicle*. MIT-Press. Cambridge, Massachusetts, London, England, 1990.

УДК 004.9  
МРНТИ 20.53.19

## ЛОРЕНЦ МЕТРИКАСЫН ҮЛГІ ТАНУДА ҚОЛДАНУ

Е.Р. КЕРІМБЕКОВ, Е.С. СЕЙІТКАМАЛ

*Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті*

**Аңдатпа:** Техника мен технологиялардың дамуы ғылым әлемінде төңкеріс жасауда, атап айтсақ бір ғана есептеуіш техникасының пайда болуы кез келген ғылым саласына жаңа серпін беріп, түрлі жаңалықтардың ашылуына жол ашты. Қазіргі таңда ғылым салаларының бірлесуі ғылым әлемінде тың ойлардың туындауын және бұрынғы әдістердің қанишалықты дәрежеде оңтайлы екенін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл мақалада ең әуелі зерттеліп отырған тақырып бойынша шетелдік жарияланымдарға әдебиеттерге шолу жасадық, Лоренц метрикасының Евклид кеңістігімен салыстырып айырмашылығын формулалар мен суреттерде мысал ретінде келтірдік. Лоренц метрикасын пайдалана отырып үлгі тануда жаңа алгоритм құрдық және бұл алгоритмнің тиімділігін тексеру үшін деректер базасында түрлі сынақтардан өткіздік. Жүргізілген тәжірибе нәтижесінде Лоренц метрикасы арқылы құрылған алгоритм классикалық алгоритмдермен салыстырылды, атап айтсақ Bayes, kNN және осы секілді алгоритмдер, содан соң нақты түрде сараптамалық нәтижелерді ұсындық.

**Түйінді сөздер:** Лоренц метрикасы, Евклид кеңістігі, ақылды алгоритмдер, үлгі тану, жіктеу

## APPLICATION LORENTZ METRICS IN PATTERN RECOGNITION

**Abstract:** The development of technologies and technologies has revolutionized the world of science, in particular, the emergence of only one computing technology has given new impetus to science and led to the discovery of various innovations. Nowadays, the integration of science into the world of science allows us to judge the emergence of new ideas and the optimality of the past. In this article, we first reviewed the literature for foreign publications on the topic under study and compared the Lorentz metric with Euclidean space as an example in formulas and illustrations. Using the Lorentz metric, we created a new model recognition algorithm and checked the database to verify the effectiveness of this algorithm. As a result of the experiment, the algorithm created by the Lorentz metric was compared with classical algorithms, namely Bayes algorithms, kNN and similar ones, and then presented specific results.

**Keywords:** Lorentz metric, Euclidean space, intellectual algorithms, pattern recognition, classification

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛОРЕНЦОВОЙ МЕТРИКИ В РАСПОЗНАВАНИИ ОБРАЗОВ

**Аннотация:** Развитие техники и технологий произвело революцию в мире науки, в частности, появление только одной вычислительной техники дало новый импульс науке и привело к открытию различных инноваций. В наши дни интеграция науки в мир науки позволяет нам судить о появлении новых идей и оптимальности прошлого. В этой статье мы впервые рассмотрели литературу для зарубежных публикаций по исследуемой теме и сравнили метрику Лоренца с Евклидовым пространством в качестве примера в формулах и иллюстрациях. Используя метрику Лоренца, мы создали новый алгоритм распознавания моделей и проверили базу данных, чтобы проверить эффективность этого алгоритма. В результате эксперимента алгоритм, созданный метрикой Лоренца, сравнивался с классическими алгоритмами, а именно с алгоритмами Байеса, kNN и аналогичными, затем представлял конкретные результаты.

**Ключевые слова:** метрика Лоренца, Евклидово пространство, интеллектуальные алгоритмы, распознавание образов, классификация

**Кіріспе**

Бұл жұмыста біз Лоренц кеңістігінің қашықтықты өлшеуін жіктеу мәселелерінде қолдануды ұсынамыз. Осы тәсіл метрикалық оқытудың және көп қырлы оқытудың жалпы парадигмасына жатады [1,2]. Лоренц кеңістігі өзінің жеке қасиеттері бар классификация мәселесінде тиімді шешімдерді табуға жоғары әлеуетке ие [3]. Лоренц кеңістіктегі қашықтықты метрика оң болып табылмайды, сол себепті біз деректер нүктелерін жіктеу жылдамдығын арттыру үшін ерекше түрде ұйымдастыруға мүмкіндік аламыз. Сондықтан Лоренц қашықтығы жіктеу мәселелерінде пайдалы. Лоренц кеңістігі әдетте физикада жалпы және арнайы салыстырмалық теорияларының өрістерінде, сондай-ақ ғарыш теориясы мен дифференциалдық салалардағы математикада пайдаланылады [4]. Физикада, әсіресе салыстырмалы теория тақырыбында, Лоренц кеңістігі мен оның қасиеттері туралы теориялық материалдар жеткілікті. Лоренц кеңістігінде математикалық операцияларды қолдану зерттелді [5].

Лоренц кеңістігін пайдалану туралы кейбір ғылыми зерттеулер бар [6,7]. Жалпы алғанда, бұл зерттеулерде Лоренц кеңістігінің артықшылығын пайдаланып, жаңа функционалды экстракция және өлшемді азайту әдістері жасалды. Содан кейін зерттеушілер Лоренц метрикалық тензорды жартылай бақыланатын өлшемді азайту әдісін ұсынды. Авторлар жаңа үлгіде таңбаланбаған үлгілердің жергілікті құрылымын сақтауы мүмкін екендігін атап өтті [8]. Осылайша, ұсынылған алгоритм жоғары дисперсиялық кимылдарды зерделеу мүмкіндігіне ие.

**1. Лоренц кеңістігіндегі қашықтық пен аймақ метрикасы**

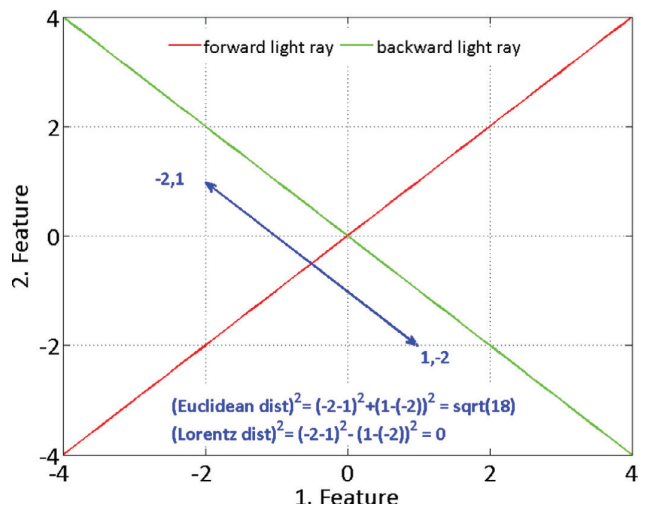
Лоренц кеңістігі математика, кеңістіктік теория және дифференциалдық геометрияда кеңінен қолданылатын кеңістік болып табылады. Дегенмен, инженерлік қосымшалар бойынша зерттеулер жеткіліксіз. Сондықтан, Лоренц кеңістігіндегі математикалық білімдерді әдебиетте тануды және жіктеуді тану сияқты жаңа салалар ретінде қолданылады.

Лоренц кеңістігі ерекше кеңістік және Евклидтік емес кеңістік деп аталады. Лоренц кеңістігіндегі ішкі айнымалылар Евклид кеңістігінен ерекшеленеді, өйткені Лоренц кеңістігінде оң анықтылықтың жағдайы қолайсыз болып табылады. Евклид кеңістігіндегі тең қашықтықтың нүктелерінің орналасуы шеңберді құрайды. Дегенмен, Лоренц кеңістігіндегі бірдей қашықтықтардың нүктелерінің құрылымы басқаша. Лоренц кеңістігіндегі аймақ тұжырымдамасын зерттеу үшін ең алдымен осы кеңістіктегі екі нүктенің арасындағы қашықтықты түсіну қажет. Әр кеңістіктегі қашықтықты есептеу кезінде арнайы метрикалар анықталуы керек [9].

$$d(X, Y) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{l-1} |x_i - y_i|^2\right) - |x_l - y_l|^2} \quad (1)$$

мұнда  $l$  – кеңістіктің өлшемі (элементтер саны) және қашықтықтың өлшеміне соңғы өлшемнің қосындысы теріс екенін ескеріңіз.

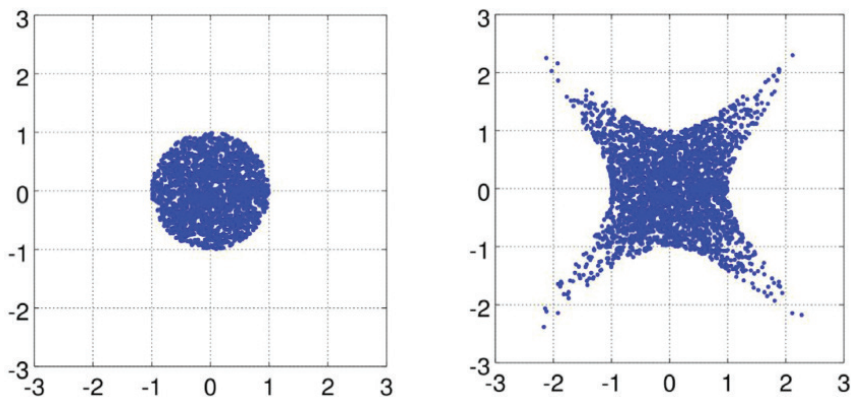
1-формуладан көріп отырғанымыздай, Лоренц метрикасы уақыттың өсіне сәйкес келетін екінші мерзімде кері таңбалы белгіге ие. Лоренц метрикасының негізгі айырмашылығы – екі нүктенің арасындағы қашықтық нөлге тең болуы мүмкін.



1-сурет. Лоренц пен Евклид қашықтықтарын салыстыру

Лоренц пен Евклид метрикаларын пайдалана отырып, екі нүкте арасындағы қашықтықты есептеуді салыстыру 1-суретте көрсетілген. Бұл суретте 2 нүкте берілген: (-2, 1) және (1, -2). Бірінші координат бірінші нысанға, екіншісі екінші нысанға тиесілі. Егер бұл нүктелер Евклид кеңістікте болса, онда қашықтық тең №18. Егер бұл нүктелер Лоренц кеңістігінде болған деп санасақ, онда (1) формула бойынша арақашықтық нөлге тең болады.

шісі екінші нысанға тиесілі. Егер бұл нүктелер Евклид кеңістікте болса, онда қашықтық тең №18. Егер бұл нүктелер Лоренц кеңістігінде болған деп санасақ, онда (1) формула бойынша арақашықтық нөлге тең болады.



2-сурет. а) Евклид кеңістігінде Гаусс тарату арқылы блоктардың орналасуы және ә) Лоренц кеңістігінде

Лоренц кеңістігінде Лоренц аралығындағы екі нүктенің арасындағы қашықтық көлденең бағытта параллель 45<sup>0</sup>-та нөлге тең. Содан кейін аймақты бейнелеу үшін, біз Гаусс таратуына сәйкес кездейсоқ 5000 нүкте аламыз. Біріншіден, Евклид қашықтығы  $d \leq 1$  бойынша координат жазығының басына ең жақын нүктелері таңдалады. Бұл 2.а суретте көрсетілген Евклид бірлігінің шеңбері. Екіншіден, Лоренц аралығындағы  $d \leq 1$  қашықтығымен координат жазығының басына ең жақын нүктелер таңдалады. Бұл 2.ә суретте көрсетілген крестің гиперболалық пішіні. Осылайша Евклид және Лоренц кеңістіктерінде аймақтар әртүрлі. Бұл құбылыс бізге Лоренц кеңістігінде қолдануға арналған нүктелерді өзгерту идеясын береді.

**2. Қолданылған мәліметтер қоры**

Бұл зерттеуде Лоренц кеңістігін жіктеуде әзірленген классификациялық алгоритмдердің дәлдігі мен сенімділігін тексеру үшін CLIMATE, GESTURE, PARKINSON, RELAX, VERTEBRAL және WINE деректер жиынтығы ұсынған мәліметтерімен зерттеу жұмысы жүргізілді. Бұл деректер жиындарындағы атрибуттардың саны 6 дан 500-ге дейін болады және екі сыныптың деректер жиыны әдетте қолайлы болады. Эксперименттерде деректер жинақтарындағы үлгілердің 30%-ы оқу үшін, қалғаны – тестілеу үшін жұмсалды. Қосымшада келтірілген мәліметтер жиынтығы туралы кейбір статистикалық деректер 1 кестеде көрсетілген.

**1 кесте – Деректер жинағының статистикасы**

	Атрибуттардың саны	Сыныптар саны	Үлгілердің саны	Оқыту	Тест
CLIMATE	8	2	540	120	420
GESTURE	18	2	448	150	298
PARKINSON	29	2	1040	200	60
RELAX	12	2	182	60	122
VERTEBRAL	6	3	310	110	200
WINE	13	2	130	44	86

### 3. Ұсынылған әдістер

Мақалада Лоренц кеңістігінде жаңа жіктеу әдісі және оның екі нұсқасы ұсынылған. Аталған әдістің негізгі мәні Лоренц аралығын шектеу критерийі ретінде пайдаланылады. Бұл әдіс Лоренц қашықтыққа сәйкес ең жақын үлгілерді немесе көршілерді анықтау арқылы жіктеуді жүзеге асырады.

#### 3.1. Алдын ала өңдеу

Жіктеудің тиімділігін арттыру үшін алдын ала өңдеу қадамы барлық үлгілерге қолданылуы керек. Алдын ала өңдеу сатысы математика мен алгебрадағы матрицаларды аудару және көбейту сияқты жақсы белгілі негізгі операциялардан тұрады (қысу). Осылайша, үлгілер Евклидтік бір шеңбердің пішініне сәйкес келетін гиперболалық крест пішінінің бір кідірісінде бөлу ретінде жарамды болады. Алдын ала өңдеу сатысында матрицалық көбейту Лоренц қашықтығы үшін үлгілерді мағыналы түрде түрлендіру әдісінде қолданылады. Матрицаны көбейту немесе қысуды елеулі пайдалану үшін ауысымдық жұмыс қосымша құрал ретінде таңдалады [10].

Үлгілердің (деректердің) ауысуы қарапайым, олардың сомасын вектордың нүктесін  $\delta$ -мен ауыстыру жеткілікті және бұл төменде көрсетілгендей оператордың көмегімен жүзеге асуы мүмкін:

$$T_{\delta}f(\vartheta) = f(\vartheta + \delta), \quad (2)$$

Алдын ала өңдеу сатысында тек матрицалық көбейту (қысу) саналы түрде таңдалады, бірақ бұл матрицалық теорияда диагональды матрицаның қасиеттеріне байланысты. Диагональды матрица егер  $i \neq j \forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$  болса, онда  $\lambda = 0$ , бұл екі өлшемді деректер үшін келесідей:

$$\lambda = \begin{pmatrix} w & 0 \\ 0 & q \end{pmatrix} \text{ немесе } \lambda = \begin{pmatrix} 0 & w \\ q & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

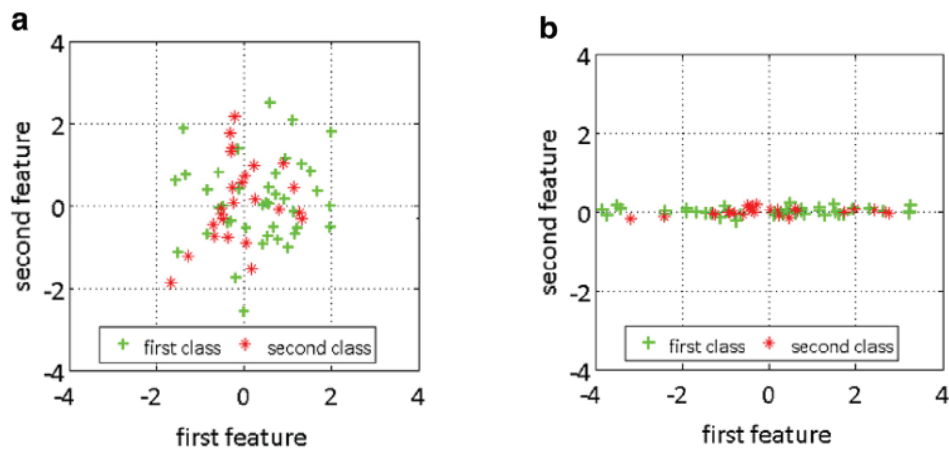
мұнда  $w, q \in \mathbb{R}$ . Бұл жұмыста біз матрицаның бірінші формасын пайдаланамыз, ал матрицаның  $\lambda$  параметрінің  $w, q$  параметрінің арақатынасы  $w = 20 * q$  ретінде анықталады. Бастапқы іс ретінде қабылданады

$$\lambda = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 0.1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Осы құндылықтар, ең алдымен, біздің байқаулар барысында болжамдар ретінде таңдалады. Бірақ осыдан кейін бөліктің соңында осы параметрлерді өзгерту әсерін зерттейміз. Үлгілер матрицаның геометриялық центроидтер класына сәйкес көбейтіледі:

$$X' = X\lambda \quad (5)$$

3-суретте екі сыныпта орындалатын қысу әсерін көре аламыз. Қысуды пайдалана отырып алдын ала өңдеу кезеңі проекцияның бір түрі болып табылады [11].



3-сурет. Деректер жиынтығынан екі сипаттамалық нүктені бөлу:  
а) түпнұсқа және б)  $\lambda$  матрицасында қысылғаннан кейін

#### 4. Зерттеулер мен нәтижелер

Осы мақалада ұсынылған әдістердің классификациялық проблемалардағы нәтижелерін тексеру үшін кейбір қоғамдық деректер жинақтары таңдалған. CLIMATE, GESTURE, PARKINSON, RELAX, VERTEBRAL және WINE эксперименттерінде пайдаланылады. Таңдалған деректер жиынтығындағы мүмкіндіктер саны 6-29 аралықта өзгереді. Бұл кестелер туралы 1-кестеде статистикалық ақпарат бар.

Эксперименттерде екі өлшемді Лоренц кеңістігі зерттелді, сондықтан барлық ерекшеліктер жұптарға бөлінеді. Мысалы, RELAX деректер жиынтығынан функционалды топ үшін, 73,50% ең жақсы жіктеу жылдамдығы басқа әдістермен салыстырғанда Лоренц метрикасы бойынша жіктеу (ЛМЖ) әдісімен алынады. Сол функционалдық топта kNN 62,39% қатынасын құрады. Евклид қашықтығын Лоренцке ауыстырғаннан кейін, kNN классификациясы нәтижесіне шамамен 10% табыс деңгейі қосылды. Әдебиеттерден белгілі болғандай, SVM екі кластағы деректер жиынтығымен тиімді жұмыс істейді, алайда біздің жағдайымызда жіктеу коэффициенті SVM арқылы 47,86% құрайды. Сондай-ақ, Bayes классификаторы жіктеу коэффициентін 72,65% құрайды, ал ЛМЖ арқылы алынған нәтижелерге өте жақын. Лоренц метрикасы бойынша жіктеуде айналу әдісін қолдану (ЛМЖА) бұл жағдайда Bayes сияқты нәтиже береді. Мұндай кезде ең жақсы жіктеу коэффициенті оңтайлы қысу матрицасы бойынша жұмыс істейтін Лоренц метрикасы бойынша жіктеуде қысу матрицасының оңтайлы параметрлері (ЛМЖП) алгоритмі бойынша алынған, ол 82,05% құрайды.

ЛМЖА ЛМЖ-ге қарағанда ЛМЖА жылдамдығы аз болса, CLIMATE және GESTURE деректер жиынтығынан көруге болады, бірақ ЛМЖА нәтижелері басқа классификаторларға қарағанда оңтайлы шешім. Бұл жағдайларда ЛМЖП әдісімен үздік нәтижелер 93,99% және 91,38% сәйкес келеді. Сонымен қатар, ЛМЖП GESTURE ішінде 20% шамасында айтарлықтай айырмашылық бар. Бұл жағдайда ЛМЖ шығысы үшін ең

жақын қаражат kNN-мен 69,83% -ды құрайды, сонымен қатар CLIMATE деректер жинағында ең жақын жылдамдық 90,14% -ды құрайды. Эксперименттерде, WINE деректер жиынтығынан алынған функционалды топ үшін, барлық үш ЛМЖ, ЛМЖА және ЛМЖП әдістерінің ең жақсы жіктеу жылдамдығы 96,20% деп жазады. Осындай жағдайға ең жақын нәтиже kNN бойынша 93,67%, Bayes және SVM нәтижесі сәйкесінше 84,81% және 88,61% құрады.

PARKINSON үшін ЛМЖ және ЛМЖА әдістеріне тиісінше 73,30% және 73,33% жіктеу жылдамдығы. Жоғары SVM шығарылымына қарамастан, ЛМЖ және ЛМЖА 2% мөлшерінде оң нәтиже береді. Дегенмен, ЛМЖП үздік жіктеу нәтижесін 80,00%-ға дейін, ал, бұл өндірісті айтарлықтай арттырады. VERTEBRAL деректер жиынтығы үшін нәтиже ЛМЖА бойынша 76,50% деңгейінде алынды, онда ЛМЖ және ЛМЖП тиісінше 70,00% және 72,00% өндіреді. Сол жағдайда ЛМЖ-ге ең жақын ставка kNN-мен 60,00% -ды алды, ал ең нашар шығыс SVM-да 38,50% -ды құрайды. Бұл ЛМЖП ЛМЖА-дан гөрі жіктеу жылдамдығын азайтқан жағдайда ғана, бірақ басқа жағдайларда артықшылық сақталады.

Мұнда ең нашар жағдай үшін оңтайлы параметрлер алынады, содан кейін оны барлық жұп жұптарда қолданамыз. Осылайша есептеу қиындықтары едәуір азайды. Сонымен қатар, қысу матрицасының оңтайлы параметрлері әрбір функция үшін жеке есептелуі мүмкін. Біз жіктеу ставкалары бұдан да арта түсетінін күтудеміз, бірақ есептік күрделілігі де жағымсыз түрде өседі. Классификация нәтижелеріне негізделі отырып, ЛМЖП әдісі көп жағдайларда kNN және ЛМЖ, ЛМЖА-мен салыстырғанда дұрыс нәтиже береді.

Осы кестелердегі әртүрлі k мәндеріндегі ауысулар сәйкес kNN нәтижелерімен сәйкес келмейді. CLIMATE деректер жинағының тәуірлеу CL мәнінің төмен мәнінде, ЛМЖА және ЛМЖП мәндері 77%-дан 87%-ға дейін өзгереді, бірақ k = 5 бастап, жіктеу нәтижелері 92% және 94% арасында өзгереді. Сол жағдайларда, kNN аз өзгерістері бар өзгеріс-

терді көрсетеді. ЛМЖ, ЛМЖА және ЛМЖП әдістерінің жіктелуі нашар  $k$  мәндері үшін нашар, содан кейін жоғары  $k$  мәндеріне тез көтеріледі. Осы жағдайға қарамастан, ЛМЖ, ЛМЖА және ЛМЖП әдістері  $kNN$  және басқа классикалық әдістерге қарағанда тиімді нәтиже береді.

### 5. Қорытынды

Мақалада Лоренц қашықтықты метрикасына негізделген жаңа жіктеу әдісі ұсынылды. Кейбір қоғамдық деректер жиынтығын қолдана отырып, ЛМЖ әдісінің жарамдылығы тексерілді. Эксперименттік нәтижелерге сүйенсек, ЛМЖ әдісі деректер жиынтығының бөлінуіне сәйкес әртүрлі сомалар бойынша жіктеу жылдамдығын арттырды. Басқа әдістермен жақсы жіктеу коэффициенттерін алу жағдайында, ЛМЖ әдісі жақсартылған шағын нәтижелермен үздік баға береді. Дегенмен, басқа әдістермен төменгі классификацияның көрсеткіштері алынған жағдайда, ЛМЖ әдісі жоғары жетілдірулермен тиімдірек шешім шығарады. Дифференциалды іргелендіру 20%-дан жоғары болуы мүмкін.

Қалған зерттеулерде ротациялық операцияны қосу және қысу матрицасының оңтайлы параметрлерін табу арқылы алдын ала өң-

деу қадамы күшейтілді және екі кеңейтілген ЛМЖА және ЛМЖП алгоритмдері ұсынылды. Жаңа ЛМЖ, ЛМЖА және ЛМЖП әдістерінің нәтижелері CLIMATE, GESTURE, PARKINSON, RELAX, VERTEBRAL, WINE деректер жинақтары арқылы жасалды. Алдын ала өңдеу қадамындағы үлгілердің айналу бұрышы таңдалған және  $45^\circ$  деп бекітілген. Сығымдау матрицасының оңтайлы параметрлерін анықтағанда, нашар жіктеу жылдамдығын беретін ерекшелікті жұп сілтеме ретінде таңдалды.

Жалпы ЛМЖ әдісі және ЛМЖА және ЛМЖП кеңейтілген нұсқалары классикалық классификаторларға қарағанда оңтайландырылған шешімдерді береді. Осылайша Лоренц қашықтығы метрикасын жіктеу мәселелерінде қолдану дәлелденді. Лоренц қашықтығы қазіргі кездегі екі қиындыққа берілген жауап. Әрине, біз көп өлшемді деректер жиынтығын көптеген екі өлшемді ішкі жиындарға азайта отырып, содан кейін осы ішкі жиындарды жіктеуге қолдана аламыз. Болашақта жұмыста, сыныптардың үлкен саны мен жоғары өлшемді сипаттамалары, Лоренц қашықтықты метрикасын қарапайым жіктеу мәселелері бойынша айрықша критерий ретінде қарастырып, егжей-тегжейлі зерттелетін болады.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Y. Deng , Y. Li , Y. Qian , X. Ji , Q. Dai , Visual words assignment via information-theoretic manifold embedding, IEEE Trans. Cybern. 44 (10) (2014) 1924–1937.
2. Tan X., et al. “Face recognition from a single image per person: A survey”, Pattern recognition 39(9):1725-1745, 2006.
3. Theodoridis S., Koutroumbas K., Pattern Recognition, 4th ed., Elsevier, 2009.
4. Kerimbekov Y., et al., “The use of Lorentz distance metric in classification problems.” Pattern Recognition Letters, 84: 170-176, 2016.
5. R. Liu , Z. Su , Z. Lin , X. Hou , Lorentzian discriminant projection and its applications, in: ACCV’09, 3, 2009, pp. 311–320.
6. H.S. Bilge , Y. Kerimbekov , Classification with Lorentzian distance metric, in: 23th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU2015), 2015, pp. 2106–2109.
7. H.S. Bilge , Y. Kerimbekov , H.H. Ugurlu , A new classification method by using Lorentzian distance metric, in: Innovations in Intelligent SysTems and Applications 2015 International Symposium on, 2015, pp. 1–6.
8. Y. Deng , Q. Dai , R. Liu , Z. Zhang , S. Hu , Low-rank structure learning via non-convex heuristic recovery, IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. 24 (3) (2013) 383–396.

9. Gündoğan H., Keçioğlu O., “Lorentz matrix multiplication and the motions on Lorentz plane”, *Glasnik Matematički*, 41: 329-334, 2006.
10. Brualdi R., *Introductory Combinatorics*, 5th ed., Pearson Prentice Hall, 2010.
11. Abate A.F., et al. “2D and 3D face recognition: A survey”, *Pattern recognition letters*, 28(14):1885-1906, 2007.

УДК 691.3 (574)  
МРНТИ 67.09.33

**КОМПОЗИЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ  
ДЛЯ САМОНИВЕЛИРУЮЩИХСЯ СТЯЖЕК ПОД ПОКРЫТИЕ ПОЛА С  
ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОСФЕР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОЛ КАЗАХСТАНА**

**И.В. КОЛЕСНИКОВА, М. ДИАС**

*Казахская головная архитектурно-строительная академия*

**Аннотация:** Рассматривается возможность решения экологических вопросов применения отходов топливно-энергетического комплекса Казахстана в производстве строительных материалов. Получены эффективные составы цементных самонивелирующихся стяжек под покрытие пола с использованием микросфер энергетических зол. Показано, что введение микросфер обуславливает улучшение реологических характеристик при сокращении расхода портландцемента в составе композиции, возможность применения полиминеральных строительных песков вместо кварцевых, обеспечивая требуемые показатели физико-механических свойств.

**Ключевые слова:** алюмосиликатные микросферы, промышленные отходы ТЭЦ, энергетические золы, самонивелирующие стяжки под покрытие пола

**COMPOSITION OF CEMENT DRY MIXES FOR SELF-LEVELING SCREED UNDER  
THE FLOORING WITH THE USE OF THE MICROSPHERES OF THE ENERGY EVILS  
OF KAZAKHSTAN**

**Abstract:** The possibility of solving environmental issues of the use of waste fuel and energy complex of Kazakhstan in the production of building materials. The effective compositions of cement self-levelling screeds under the floor covering with the use of microspheres of energy evils are obtained. It is shown that the introduction of microspheres causes an improvement in rheological characteristics with a reduction in the consumption of Portland cement in the composition, the possibility of using polymineral construction Sands instead of quartz, providing the required indicators of physical and mechanical properties

**Keywords:** aluminosilicate microspheres, industrial waste CHP, energy ash, self-leveling screed under the floor

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КҮЛДЕР МИКРОСФЕРАЛАРЫН  
ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЕДЕН ЖАБЫНЫНА ӨЗДІГІНЕН АЖЫРАТЫЛАТЫН  
ТАРТПАЛАРҒА АРНАЛҒАН ЦЕМЕНТТІ ҚҰРҒАҚ ҚҰРЫЛЫС  
ҚОСПАЛАРЫНЫҢ КОМПОЗИЦИЯЛАРЫ**

**Аңдатпа:** Құрылыс материалдарын өндіруде Қазақстанның отын-энергетикалық кешенінің қалдықтарын қолдана отырып, экологиялық мәселелерді шешу мүмкіндігі қарастырылуда. Энергетикалық күлдің микросфераларын пайдалана отырып, еден жабындысының астына цементті өздігінен ажырататын тартпалардың тиімді құрамдары алынды. Микросфераларды енгізу композиция құрамында портландцементтің шығынын азайту кезінде реологиялық сипаттамалардың жақсаруына, кварц құмының орнына полиминералды құрылыс құмдарын пайдалану мүмкіндігіне, физикалық-механикалық қасиеттердің талап етілетін көрсеткіштерін қамтамасыз етуге себепші болады.

**Түйінді сөздер:** алюмосиликатты микросфералар, ЖЭО-ның өнеркәсіптік қалдықтары, энергетикалық күлі, еден жабыны астындағы өздігінен ажырататын тартпалар

Исходя из мировых тенденций, «зеленые технологии» являются одним из важнейших инструментов развития социально-экономической сферы страны. Главным критерием в понятии «Зеленая экономика» является необходимое обеспечение экологического благополучия страны, что в дальнейшем положительно скажется на развитии экономики, промышленности, а также на обществе.

Основными источниками загрязнения являются энергетические установки, работающие на органическом топливе, доля выбросов которых составляет примерно 29%, металлургические предприятия – 34,5%, нефтехимические предприятия – 15,5%, автотранспорт – 13%, промышленность стройматериалов – 8,1%.

Крупнейшие электроэнергетические объекты расположены в северных и центральных районах Казахстана, обеспечивая эти районы электроэнергией в достаточной мере. Основным видом топливно-энергетических ресурсов Казахстана является уголь, который поставляется из Экибастузского, Карагандинского и Кузнецкого месторождений. В настоящее время в Казахстане насчитывается около 60 средних и крупных тепловых электростанций. В качестве твердого топлива на ТЭС в больших объемах используются угли, характеризующиеся высокой зольностью. Ежегодно энергетика Казахстана воспроизводит огромное количество золошлаковых отходов и лишь малая часть после этого (около 10%) отправляется на переработку в продукцию, являющуюся полезной в других областях. Оставшиеся 90% массы отходов хранятся в золоотвалах и занимают ценные площади земли, оказывая негативное влияние на экологию страны. Это обусловило тот факт, что на территории Казахстана в районе действующих ТЭС скопилось более 4600 млн.т зольно-шлаковых отходов [1].

Поэтому, среди всех источников загрязнения вопросы влияния тепловых электростанций на состояние окружающей среды становятся все более актуальными. Глобальные последствия может иметь химическое и тепловое загрязнение воздушного бассейна Земли.

При этом золошлаковые отходы – это сырье, которое может быть эффективно вторично использовано в самых различных отраслях промышленности. Зола и шлаки имеют пятый класс опасности и поэтому могут применяться в производстве строительных изделий и материалов, удобрений для сельскохозяйственных нужд, а также в дорожно-транспортном строительстве, засыпке оврагов, болот и карьеров. А также в золошлаках содержатся ценные редкоземельные элементы, оксиды различных металлов (алюминия, кремния, железа). Все это можно использовать [2].

Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов позволяет снизить затраты на 20...30% по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капиталовложений достигает порядка 40...45%.

Мировой опыт применения золошлаковых отходов на промышленных предприятиях в качестве вторичного сырья показывает большие перспективы его использования. Так в 2000-м году Ассоциация угольной золы в Америке способствовала принятию закона «О сохранении и восстановлении ресурсов». В результате этого, в 2008-м переработка золошлаков в Соединенных Штатах достигла 70-ти процентов [5]. Польша имеет опыт удаления алюмосиликатных микросфер с поверхности воды бассейн-отстойников. Для сравнения, в США используется около 20% золошлаковых отходов, Европейские страны, где очень развит промышленный симбиоз, используют около 70% образующихся золошлаковых отходов: в Великобритании – 60%, в ФРГ – 72%, в Финляндии – 84% [3,6,9].

Использование зольных отходов тепловых электростанций в различных сферах промышленности и, в том числе, в производстве строительных материалов, позволяет с одной стороны решать экологические проблемы, с другой – обеспечивает материалам специальные свойства, снижает себестоимость за счет понижения энергоемкости и замены части дорогостоящих компонентов (например, портландцемента).

Известно большое количество разработок, предполагающих применение в составе материалов переработанных золо-шлаковых отходов: различные цементные композиты, сухие строительные смеси, теплоизоляционные, огнеупорные, облицовочные материалы и т.д. [7]. Однако, использование алюмосиликатных микросфер в получении строительных материалов, технологии отделения которых из зольных отходов освоили и в Казахстане, изучено мало. В Казахстане алюмосиликатные микросферы получают на ТЭС в таких городах как Павлодар, Экибастуз, Караганда, Аксу и Топар в суммарном объеме около 100 тысяч тонн в год. В основном, они экспортируются в страны Евросоюза: Испания, Швеция, Польша, Германия, Словакия и т.д. И часть используется в нефтегазовой промышленности, в машиностроении, в химической промышленности, при производстве различных строительных материалов.

Известны исследования [4] по применению полых алюмосиликатных микросфер в составе цементных композитов, а также отдельные примеры практического применения в качестве многофункционального наполнителя высококачественных композиционных материалов, таких как: лёгкие конструкционные материалы, мастики, шпатлевки, герметики, лаки, краски, клей, изделия из эпоксидных и полиэфирных смол, лёгкие цементы и др.

Однако, исследований и опыта получения цементных композиций для стяжек под покрытие пола в Казахстане и зарубежных странах нет. В то же время, известно, что алюмосиликатные микросферы уменьшают плотность материала, улучшают теплофизические характеристики, увеличивают текучесть и прокачиваемость массы, улучшают устойчивость к действию высоких температур, обладают довольно низким водопоглощением [8]. К цементным составам для самонивелирующихся стяжек под покрытие пола предъявляются аналогичные требования. Они должны характеризоваться высокой подвижностью (растекаемостью), пониженными показателями теплопроводности, низким водопоглощением и устойчивостью к действию высоких температур при устройстве обогрева полов.

Учитывая это, были проведены исследования по получению цементных композиций для самонивелирующихся стяжек под покрытие пола, в состав которых вводили алюмосиликатные микросферы Экибастузской ТЭЦ. Микросферы характеризуются насыпной плотностью 400 кг/м<sup>3</sup>, средней плотностью 700 кг/м<sup>3</sup>, плотностью оболочки 2200 кг/м<sup>3</sup>, диаметром от 20 до 600 мкм, теплопроводностью 0.11 Вт/(м\*К). Химический состав приведен в таблице 1, фракционный состав – в таблице 2.

**Таблица 1 – Химический состав алюмосиликатных микросфер**

Наименование ТЭЦ	Содержание, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Павлодарская ТЭЦ	54.1	28.3	1.14	0.55	0.62	0.4	0.2	7.47

**Таблица 2 – Фракционный состав микросфер**

Фракция, мкм	Процентное содержание, %
20-120	15
120-160	10
160-320	65
320-600	10

В цементных составах использовался ЦЕМ II/A-III 32,5Н (ПЦ 400 Д20) «Бухтарминской цементной компании», соответствующий ГОСТ 31108-2003, суперпластификатор (СП) Master Glenium 977, строительный песок, соответствующий ГОСТ 8736-2014, кварцевый песок, соответствующий ГОСТ 22551-77, релаксированный полимерный порошок ELOTEX FL2280 и эфир метилцеллюлозы BERMOCOLL E230X.

Влияние алюмосиликатных микросфер на свойства самонивелирующих цементных композиций для стяжек под напольные покры-

тия изучали на составах цементных композиций с заменой ими тонких фракций строительного и кварцевого песка.

В таблице 3 представлены основные составляющие исследуемых составов.

В таблице 4 приведены основные свойства полученных цементных композитов для самонивелирующихся стяжек под покрытие пола. Испытания проводились согласно действующему ГОСТ 31357-2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия». Подвижность цементного композита должна быть не менее 17 см.

**Таблица 3 – Составы композиций**

Компонент	Содержание в % от общей массы сухих веществ											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Цемент М500Д0	35	35										
Цемент М400Д20			35	35	30	30	30	30	30	30	30	30
Кварцевый песок	58.4		58.4	-	57	-	50.3	-	44.0	-	24.8	-
Строительный песок		58.4	-	58.4	-	57	-	50.3	-	44.0	-	24.8
Микросферы	-	-	-	-	6.4	6.4	13.1	13.1	18.7	18.7	37.5	37.5
Гидратная известь	1											
Суперпластификатор	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.57	0.57	0.61	0.61
Метилцеллюлоза	0.1											
Релаксированный порошок	5											

**Таблица 4 – Основные свойства цементных композитов для самонивелирующихся стяжек под покрытие пола**

Показатель	Состав											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Растворные смеси												
Подвижность, см	22.4	20.6	21.7	19.3	22.8	21.1	23.8	21.5	24.3	22.3	23.5	22.7
Расслаиваемость, %	4.3	4.8	4.5	5.1	5.7	6.4	6.3	6.9	6.8	7.2	8.7	9.1
Сроки схватывания, ч:												
Начало, не менее	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Конец, не более	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Затвердевшие составы												
Прочность на сжатие, МПа, не менее	23.2	17.3	20,16	15.18	20.8	17.8	20.9	17.1	17.88	13.8	11.8	8.75
Водопоглощение, %, не более	90	90	90	90	90	90	90	90	95	95	95	95

Анализируя данные таблицы 3 и таблицы 4 замена в цементных композитах песка в количестве 10...20% алюмосиликатными микросферами заметно не повышает водопотребность, при этом увеличивает подвижность растворной смеси. При обеспечении требуемой подвижности базового состава сокращение ВЦ составило 0.07, при этом прочность увеличилась до 22.7 МПа у композитов на кварцевом песке и до 16.6 МПа у композитов на строительном песке. Исходя из этого возможна замена цемента марки М500Д0 на марку М400Д20.

Эксперименты подтвердили, что введение микросфер, характеризующихся закрытой пористостью, увеличивает водопотребность растворной смеси. Это объясняется процессами, возникающими на поверхности частиц полых микросфер. Поверхность алюмосиликатных дисперсных частиц имеет всегда отрицательный заряд, что в свою очередь приводит к образованию вокруг частиц силового электрического поля. Вода в состав

ве имеет определенное количество солей, части которой вступают в реакцию ионного обмена. При ионной адсорбции участки поверхности, имеющие определенный заряд, начинают поглощать противоположно заряженные микрочастицы. В результате, катионы, попадая в зону действия силового поля, начинают плотно окружать ее, формируя два электрических слоя. Микросферы, благодаря высокой поверхностной энергии и электрическому заряду, вызванных малыми размерами и стекловидным строением обуславливают удержание на поверхности значительного количества воды, что и объясняет повышенную водопотребность алюмосиликатных микросфер.

Повышение водопотребности растворной смеси наблюдается при повышении расхода микросфер свыше 20% или может быть скомпенсировано за счет введения несколько повышенного количества суперпластификатора (СП) Master Glenium 977 – на 0,04 масс. %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. РНД 03.0.0.2.01 – 96. Классификатор токсичных промышленных отходов производства промышленных предприятий РК. – Алматы: МОООС РК, 1997.
2. Никитин А.Н. Шламовые отходы тепловых электростанций – источники загрязнения атмосферного воздуха и потенциальные ресурсы минерального сырья [Текст] / А.Н. Никитин, Е.В. Ермакова // Известия ТулГУ. Серия Физика. – Вып. 6. – 2006. – С. 96-111.
3. Технология утилизации золошлаковых отходов твердотопливных электростанций: Сотрудничество для решения проблемы отходов [Текст] : материалы III международной конференции / В.В. Соловей, И.А. Воробьева, Т.В. Воловина. – Х., 2006. – С. 142.
4. Андрианов А.А. Состав, ползучесть высокопрочного легкого бетона из смесей высокоподвижной и литой консистенции с модификаторами на органоминеральной основе / Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: ФГУП НИЦ «Строительство», 2007. – 15 с.
5. Tracy Wandell. Cenospheres: From Waste to Profits.// The American Ceramic Society Bulletin. 1996, -V75, -№6 (Yune) -P.79-81.
6. Золошлаковые отходы и их использование. Техносферная и экологическая безопасность [Текст] : сб. матер. межвузовской студенческой научно–практич. конф. / А.С. Миронов / – Иркутск, ИрГУПС, 2009. – С. 66-68.
7. V. S. Drozhzhin, I.V. Pikulin, M.D.Kuvaev et.al. Natural silicate microspheres. Properties and production methods.//Moscow Phys. 1999,-Soc.9 .-P.215-222.
8. Barbare N., Shukla A., Bose A. Uptake and loss of water in a cenosphere-concrete composite material // Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33. Pp. 1681—1686.
9. Челябин, Л. И. Техногенні матеріали та їх утилізація і вплив на екологію регіону [Текст] / Л. І. Челябин, В. Л. Челябин, В. Я. Тимошенко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2006. – № 1. – С. 80-86.

МРНТИ 16.31.21, 28.23.15

УДК 57.087.1: 004 (574)

## СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ГОЛОСУ

О.Ж. МАМЫРБАЕВ<sup>1</sup>, А.С. КЫДЫРБЕКОВА<sup>1,2</sup>, А.Т. АХМЕДИЯРОВА<sup>1</sup>,  
М. ТҰРДАЛЫҰЛЫ<sup>1</sup>, Н.О. МЕКЕБАЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

**Аннотация:** Идентификация по голосу – это процесс идентификации говорящего по данному высказыванию путем сравнения голосовой биометрии высказывания с теми моделями высказывания, которые были сохранены заранее. Технологии идентификации по голосу получили новое направление благодаря достижениям в области искусственного интеллекта и широко используются в различных областях. Извлечение признаков является одним из наиболее важных аспектов идентификации по голосу, который существенно влияет на процесс и производительность идентификации. Этот систематический обзор проводится для выявления, сравнения и анализа различных подходов, методов и алгоритмов извлечения признаков для идентификации по голосу, чтобы предоставить справочную информацию о подходах извлечения признаков для приложений идентификации по голосу и будущих исследований. В ходе исследования были рассмотрены модели: основанные на шаблонах, основанные на векторном квантовании, динамическом переносе времени, модель гистограмм, стохастические модели, модели гауссовой смеси и скрытая Марковская модель, основанные на Mel-частотных кепстральных коэффициентах, генеративное или векторное квантование, дискриминационные модели (обычно с использованием методов машинного обучения, таких как SVM и ANN). Это исследование показало, что текущая тенденция исследования идентификации заключается в разработке надежной универсальной структуры идентификации по голосу для решения важных проблем идентификации по голосу, таких как адаптивность, сложность, многоязычное распознавание и устойчивость к шуму. Результаты, представленные в этом исследовании, основаны на прошлых публикациях, цитатах и количестве реализаций, причем цитаты являются наиболее актуальными. Эта статья также представляет общий процесс идентификации по голосу.

**Ключевые слова:** биометрия, биометрическая аутентификация, голосовая аутентификация, речевые технологии, голосовая биометрия, идентификация по голосу, распознавание по голосу

## SYSTEMATIC REVIEW AND ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF IDENTIFICATION BY VOICE

**Abstract:** Voice identification is the process of identifying a speaker by a given utterance by comparing voice biometrics of a utterance with those utterance models that were saved in advance. Voice identification technologies have gained a new direction due to advances in artificial intelligence and are widely used in various fields. Character extraction is one of the most important aspects of voice identification, which significantly affects the identification process and performance. This systematic review is conducted to identify, compare and analyze various approaches, methods and algorithms for extracting features for voice identification, to provide background information on character retrieval approaches for voice identification applications and future research. The study examined models: based on patterns, based on vector quantization, dynamic time transfer, histogram model, stochastic models, Gaussian mixture models and hidden Markov model, based on Mel-frequency cepstral coefficients, generative or vector quantization, discriminatory models (usually using machine learning methods such as SVM and ANN). This study showed that the current trend of identification research is to develop a robust, universal voice identification structure for solving important voice identification

problems, such as adaptability, complexity, multilingual recognition, and resistance to noise. The results presented in this study are based on past publications, quotations and the number of implementations, the quotes being the most relevant. This article also presents the general process of voice identification.

**Keywords:** biometrics, biometric authentication, voice authentication, speech technology, voice biometrics, Identification by voice, voice recognition

## ДАУЫС АРҚЫЛЫ ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІНЕ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ЖҮЙЕЛІК ШОЛУ

**Аңдатпа:** Дауыс бойынша идентификациялау деп алдын ала сақталған дыбысталу моделі мен сөйлеушінің дыбысталған деректерінің дауыстық биометриясын салыстыру арқылы сөйлеушіні идентификациялау процесін айтамыз. Дауыс бойынша идентификациялау технологиялары жасанды интеллекті саласының жетістіктері нәтижесінде жаңа бағыт алды және әртүрлі салаларда кеңінен қолданысқа ие болып келеді. Белгілерді бөліп алу дауыс бойынша идентификациялаудың ең маңызды аспектілерінің бірі болып табылады және идентификациялаудың өнімділігі мен орындалу процесіне айтарлықтай әсер етеді. Аталған жүйелік шолу дауыс бойынша идентификациялауға арналған белгілерді бөліп алудың әртүрлі тәсілдерін, әдістері мен алгоритмдерін айқындау, салыстыру және талдау үшін және дауыс бойынша идентификациялаудың қосымшалары мен болашақ зерттеулерге арналған белгілерді бөліп алу тәсілдері туралы ақпараттық анықтама ұсыну үшін жүргізілген. Зерттеу барысында, үлгілерге, векторлық кванттауға және уақытты динамикалық ауыстыруға негізделген модельдер, гистограмм, стохастикалық, гаустық үлестіру және Мел-жііліктегі кепстральді коэффициенттерге, генеративті немесе векторлық кванттауға және дискриминативтік модельдерге (әдетте SVM және ANN секілді машиналық оқыту әдістерін қолдану арқылы) негізделген жасырын Марков модельдері қарастырылған. Бұл зерттеу, идентификациялау зерттеулерінің қазіргі беталысы, дауыс бойынша идентификациялаудың бейімділік, күрделілік, көптілді тану және шуылға төзімділік секілді маңызды мәселелерін шешуге арналған идентификациялаудың сенімді әмбебап құрылымын құру екенін көрсетті. Осы жұмыста берілген зерттеу нәтижелері өткен басылымдарға, цитаталарына және оларды жүзеге асырулардың санына негізделеді, оның ішінде цитаталар ең өзектісі болып табылады. Мақалада дауысты идентификациялаудың жалпы процесі де ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** биометрия, биометриялық аутентификация, дауыстық аутентификация, сөйлеу технологиялары, дауыстық биометрия, дауыс бойынша идентификациялау, дауыс бойынша тану

### Введение

Биометрия остается незаменимой там, где необходимо обеспечить безопасность доступа к физическим объектам и информационным ресурсам. Биометрические технологии успешно применяются в правоохранительной деятельности, гражданской регистрации, в области безопасности банковских обращений, инвестирования, в вопросах охраны здоровья и во многих сферах деятельности. Наиболее часто используемыми биометрическими характеристиками являются отпечатки пальцев, форма лица, радужная оболочка глаза, голос, подпись, геометрия руки. Мы не можем сказать, что та или иная характеристика является лучше остальных. Чтобы выбрать подходящий биометрический метод иденти-

фикации нужно учитывать такие факторы, как область его применения, требуемый уровень безопасности, целевую установку (верификация или идентификация), ожидаемое число пользователей, практичность и другие. Биометрия – это разработка статистических и математических методов, применяемых к анализу данных проблемы в биологических науках. Внедрение этой технологии обеспечивает новую безопасность подходов к компьютерным системам. Идентификация и проверка – это два способа использования биометрических данных для идентификации личности. Биометрия относится к использованию физических или физиологических, биологических или поведенческих характе-

ристик для установления личности человека. Эти характеристики уникальны для каждого человека и остаются частично неизменными в течение жизни [1].

Хотя биометрия не является идеальным решением, она предлагает несколько преимуществ по сравнению с подходами, основанными на знаниях и владении, в том смысле, что нет необходимости запоминать что-либо, биометрический факт в силу того, что эти атрибуты очень трудно подделать и требуют, чтобы атрибуты не могли быть потеряны, переданы или украдены, предлагают лучшую защиту – наличие подлинного пользователя при предоставлении доступа к определенным ресурсам. Вдохновленные развитием системы Бертиллона в 1883 году и системы элементарного распознавания отпечатков пальцев сэра Джона Гальтона в 1903 году, исследовательское сообщество посвятило свои усилия открытию нескольких биометрических методов. Любой физиологический или поведенческий атрибут может быть квалифицирован как биометрический признак, если только он не удовлетворяет таким критериям, как:

- универсальность: присуща всем людям;
- различие: дискриминация среди населения;
- инвариантность: выбранный биометрический признак должен демонстрировать неизменность во времени;
- собираемость: легко собирать с точки зрения сбора, оцифровки и выделения признаков из популяции;
- производительность: относится к наличию ресурсов и наложению реальных ограничений в плане сбора данных и гарантии достижения высокой точности;
- приемлемости: готовности населения передать этот атрибут в систему распознавания и обходу;
- склонность к подражанию или подражанию в случае мошеннических атак на систему распознавания.

Классификация распознавания по голосу. Речь – это универсальная форма общения. Распознавание по голосу (РГ) – это процесс

идентификации говорящего по голосовым особенностям данной речи. Это отличается от распознавания речи, когда процесс идентификации ограничен содержанием, а не говорящим. Процесс РГ основан на выявлении и извлечении уникальных характеристик речи говорящего. Характеристики голоса человека также называют голосовой биометрией. Система РГ используется для идентификации и различения говорящих и извлечения уникальных характеристик, которые могут использоваться для проверки или аутентификации пользователя. Идентификация по голосу (ИГ) известна как процесс идентификации говорящего по данному высказыванию путем сравнения голосовой биометрии данного образца говорящего. Когда голос используется для авторизации, он называется «Проверка речи». Ключевой областью применения РГ является безопасность и криминалистика. Системы РГ также используются в качестве замены для пароля и других процессов аутентификации пользователя (голосовой пароль). Криминалистика применяет ИГ для сравнения голоса человека, полученного, например, по телефону или другими зарегистрированными доказательствами. Этот процесс также называется обнаружением динамика. Наиболее важным аспектом использования систем ИГ является автоматизация таких процессов как перенаправление писем клиентов в нужный почтовый ящик, распознавание собеседников в обсуждении, предупреждение рамок подтверждения дискурса при смене говорящего, проверка того, зачислен ли клиент в каркас и так далее. Эти системы ИГ могут работать без знания образца голоса клиента, так как они полагаются только на идентификацию входящего оратора из существующей базы данных ораторов.

Наш систематический обзор ограничен ИГ как одним из основных типов систем ИГ. Извлечение признаков является одним из важных аспектов ИГ, который существенно влияет на качество ИГ. В частности, выбор подходящих методов извлечения признаков играет жизненно важную роль, поскольку идентификация осуществляется путем срав-

нения уникальных характерных признаков голосового ввода. Поэтому целью этой статьи является систематический обзор литературы по различным подходам к извлечению признаков ИГ с целью:

1) определить подходы к извлечению существенных признаков за последние шесть лет;

2) представить систематический обзор исследований подходов извлечения признаков для ИГ;

3) классифицировать различные подходы к извлечению признаков и дать рекомендации, основанные на исследовании.

Приложения идентификация по голосу могут быть классифицированы на два типа и показаны на рисунке 1:

– первый тип зависит от наличия голосовых отпечатков в базе данных, которая далее

классифицируется на две категории, а именно закрытый набор и открытый набор. В закрытом режиме вход тестового динамика сравнивается с речевыми отпечатками существующих ораторов в базе данных, и обнаруживается ближайшее совпадение [2]. Следовательно, закрытый ИГ гарантирует результат, хотя он может не быть точным говорящим. С другой стороны, в открытой системе ИГ голосовой отпечаток входного динамика сравнивается с базой данных для «точного соответствия»; ввод отклоняется, если совпадение не найдено (Reynolds, 2002);

– второй тип приложений ИГ основан на уровне пользовательского контроля, который также известен как процесс проверки динамик. Эта категория ИГ также подразделяется на две категории: текстозависимое и текстонезависимое. В текстозависимой гово-



Рис. 1 – Классификация приложений идентификации по голосу

рящий должен произносить те же фразы или слова, которые ранее использовались для обучения [3,4], в то время как в последней категории входной голосовой контент для печати может отсутствовать в обучении set [5, 6, 7].

Систематический обзор проводится с использованием методологии систематического обзора литературы, предложенный Китченом и Чартерс (2007), который подробно описан в разделе методологии. В этом обзоре мы представили различные подходы извлечения признаков, которые использовались в процессах идентификации докладчиков, и представили систематический обзор исследований этих подходов. Следует отметить ключевые

компоненты систем ИГ (которые подробно описаны в следующих разделах), такие как параметризация (т.е. извлечение признаков), моделирование динамик, сопоставление с образцом и метод оценки, которые также являются основными компонентами для РГ. Этот систематический обзор объяснил все компоненты ИГ, но больше внимания было уделено извлечению признаков.

Поскольку РГ можно рассматривать как проблему распознавания образов, для систем РГ используются различные подходы искусственного интеллекта. Недавние реализации глубокого обучения для РГ подчеркивают сложность, связанную с РГ, которая требу-

ет особого внимания по сравнению с традиционными проблемами распознавания образов в целом и проблемами распознавания речи в частности [8].

Существующие обзорные работы и опросы по распознаванию ораторов можно в целом разделить на три категории.

Первая категория – это всесторонние обзоры по ИГ, в которых рассматривается литература по общим процессам ИГ и различным категориям ИГ.

Вторая категория в основном сосредоточена на типах статистического и машинного обучения, используемых в качестве классификаторов ИГ, например, Farrell, Mammone и Assaleh (1994); Ларчер, Ли, Ма и Ли (2014); Липпманн (1989) [9,10,11]. Эта категория обзоров ИГ в основном попадает под классификацию и исследования машинного обучения, где имеется значительное количество доступной литературы. С точки зрения идентификации говорящего, единственная работа, которая конкретно обсуждала ИГ и ее процессы – это краткий обзор, представленный Сидоровым, Шмиттом, Заблоцким и Минкером (2013), в котором было объяснено и сравнено несколько общих методов ИГ [12].

Третья категория опросов по распознаванию ораторов касается подходов к извлечению признаков в ИГ. Одним из последних исследований по извлечению характеристик ИГ является Disken, Tüfekçi, Saribulut и Çevik (2017), в которых основное внимание уделяется методам выделения надежных специфических характеристик динамиком на основе профилей шума, эмоций и несоответствия каналов [13]. Другим примером является Rao and Sarkar (2014), в котором представлено упрощенное объяснение систем верификации динамиком на основе моделей и функций [14]. Был также представлен краткий обзор Chavan and Chougule (2012), в котором кратко определены и объяснены особенности распознавания по голосу [15]. Еще одна недавняя работа, в которой подчеркивается важность использования подходов глубокого обучения для выделения функций при идентификации говорящих – это Тирумала и Шахамири (2017) [16].

Другими примерами являются обзор по анализу ИГ, моделированию и извлечению характеристик, представленный Jayanna и Prasanna (2009), и опрос по оценке акустических характеристик ИГ, основанный на экспериментальных оценках (Lawson et al., 2011) [17,18].

Ни одна из существующих работ по обзору ИГ не проводилась с использованием методологии систематического обзора. Кроме того, эти работы не были ограничены определенным периодом и вместо этого были подготовлены общие отчеты о ходе исследований в области ИГ. Наконец, они не представили подробный анализ процесса идентификации говорящего и подчеркнули важность выделения признаков в РГ. Таким образом, в литературе есть пробел в предоставлении систематической ссылки на подходы извлечения признаков РГ. В этой статье делается попытка восполнить этот пробел путем систематического обзора, представляющего подробный обзор большинства статистических подходов и подходов к извлечению новых возможностей машинного обучения. Мы также подробно представили процесс идентификации докладчика. В частности, в данном документе собрана соответствующая информация и обсуждены технологии РГ, о которых с особым вниманием к методам выделения признаков РГ сообщалось в литературе с 2013 по 2018 год. Уместно отметить, что методы оценки не входят в сферу данного исследования. Основной вклад этой статьи заключается в объединении всех связанных реализаций РГ в одном месте, что послужит справочным материалом для исследователей РГ. Кроме того, этот документ может быть использован для предложения критериев выбора конкретной модели извлечения признаков для реализации систем РГ.

**Процесс идентификации по голосу.** В этом разделе представлены классификации распознавания по голосу, а затем описывается процесс идентификации по голосу.

С точки зрения исследования, ИГ может быть разделен на категории в соответствии с выполненным действием или на основе облас-

ти исследования, как показано на рисунке 2. В частности, области ИГ, основанные на действии:

1) идентификация по голосу (ИГ) для идентификации неизвестного пользователя на основе его голосовых отпечатков (Daoudi, Jourani, Andre, & Aboutajdine, 2011; Wu & Lin, 2011). Это процесс сравнения одного голосового профиля пользователя со многими профилями и поиска наилучшего или точного соответствия [19,20];

2) проверка по голосу (или Аутентификация) – это процесс проверки личности пользователя с помощью его голосовых отпечатков, когда говорящий утверждает, что он является конкретным пользователем (Jiang, Gao & Han, 2009). Это матч один на один [21];

3) диаризация по голосу – это идентификация голоса человека из данной группы, когда говорящий говорит (Anguera et al., 2012; Poignant, Besacier, & Quénot, 2015) или же является сочетанием методов сегментации и кластеризации дикторов [22,23]. РГ отличается от диаризации динамика: в системе РГ вход обычно представляет собой однопользовательский голос, и цель состоит в том, чтобы сопоставить речевые характеристики с профилем динамика из источника данных. Тем не

менее, при динаризации говорящего система произносит смесь высказываний различных пользователей, в то время как цель системы состоит в том, чтобы идентифицировать речь конкретного пользователя и определить, когда он говорит;

4) распознавание спикера используется для сохранения анонимности пользователей. Обычно используется для скрытия личности пользователей, когда их личность должна быть скрыта при сохранении акустической информации от речи (Jin, Toth, Schultz & Black, 2009; Justin et al., 2015; Pobar & Ipscic, 2014) [24,25,26];

5) обнаружение голосовой активности – это процесс определения существования человеческой речи (Haigh & Mason, 1993; Ram, Segura, Ben, De La Torre, & Rubio, 2004) [27,28].

Основанные на исследованиях области идентификации по голосу являются следующими:

1) моделирование речевых технологий – это процесс идентификации и привязки уникального идентификатора к голосовым отпечаткам отдельных говорящих, чтобы отличать их от других выступающих, представленных в базе данных [29];



Рис. 2 – Основные направления исследований для распознавания голоса

2) параметризация речи – это процесс вычисления набора параметров из небольшой части голосовых отпечатков динамика, который описывает свойства динамика или речевого сигнала [30];

3) методы сопоставления и оценки шаблонов используются для сравнения шаблонов, представленных в голосовых отпечатках входного динамика, с шаблонами, извлеченными из различных динамик для соответствия уникальным характерным признакам. Затем каждому совпадению сходства присваивается оценка, которая определяет точность идентификации говорящего. Процесс и фазы РГ описаны ниже.

В целом, система идентификации по голосу проходит две основные фазы: фазу обучения, которая также называется регистрацией, и фазу соответствия, где регистрация проверяется на соответствие.

Фаза регистрации начинается с приема входных сигналов моделирования речи и предварительной обработки и нормализации данных. Следующим шагом является извлечение признаков, обеспечивающее параметры речевого сигнала таким образом, который понятен системе. Извлеченные функции также могут нуждаться в нормализации до начала процесса обучения. Процесс обучения может включать как автономное обучение (алгоритм обучения, фоновое моделирование, адаптация модели), так и онлайн-обучение (адаптация модели). Результаты этапа обучения – это модели динамик, которые сохраняются для использования на следующем этапе. В разделе распознавания по голосу: регистрация голосов объясняет этот этап более подробно. Задача фазы согласования состоит в том, чтобы сопоставить речевой сигнал, полученный от говорящего, который должен быть идентифицирован (то есть тестовый громкоговоритель), с моделями громкоговорителей, сохраненными во время фазы регистрации, чтобы идентифицировать говорящего, произносящего речь. Как и в первом этапе, входной сигнал должен быть предварительно обработан, нормализован, а его характеристики должны быть извлечены. Далее,

характеристики тестового динамика сравниваются с моделями обученных динамик, которые ищут соответствие. Затем следует вычисление показателя сходства и его нормализация. В разделе распознавания по голосу предоставляет дополнительную информацию о фазе сопоставления.

**Распознавание по голосу: регистрация голосов.** Эта фаза инициируется параметризацией речи, при которой речевой ввод предварительно обрабатывается и нормализуется перед извлечением признаков. Извлеченные речевые функции также могут нуждаться в нормализации перед созданием и сохранением речевых отпечатков или моделей для динамика. Процесс параметризации речи.

1. Ввод речевого сигнала: необходимо учитывать следующие параметры входных сигналов:

- источник речи: определить, является ли речевой сигнал живым предметом или это записанная речь;

- язык: разные языки могут выделять разные типы речевых особенностей, которые влияют на производительность РГ;

Большинство систем РГ в литературе разработано для английского языка, в литературе также представлены системы РГ не на английском языке. Например: японский (Kawakami, Wang, Kai, & Nakagawa, 2014), тайский (Tanprasert & Achariyakulporn, 2000), испанский (Luengo et al., 2008) [31,32,33,34]. Кроме того, есть некоторые известные индийские языки, такие как ассамский (Sarma & Sarma, 2013a), маратхи (Jawarkar, Holambe & Basu, 2012) и хинди (Jawarkar, Holambe & Basu, 2015) [35, 36,37].

Существует также несколько подходов к идентификации многоязычных говорящих, таких как [38]:

- устройство захвата речи: различные типы устройств захвата речи записывают речь по-разному, поскольку они имеют разные типы датчиков, уровень возможностей захвата и чувствительность.

Например, некоторые типы микрофонов предназначены для захвата речевых сигналов для конкретной среды. Существуют так-

же микрофоны, которые предназначены для определенной цели, такие как портативные микрофоны, микрофоны с шумоподавлением, компьютерные микрофоны и микрофоны, встроенные в телефоны или смартфоны;

– шум окружающей среды: различные профили шума, такие как фоновый шум, шум окружающей среды и эхо в помещении могут нарушать входной сигнал и существенно влиять на производительность систем обработки речи. На чувствительность микрофона также влияет шум; например, в тихих условиях высокочувствительный микрофон может захватывать не только оригинальный звук динамика, но и сигналы реверберации [39]. Методы помехоустойчивости или умные помещения могут использоваться для снижения воздействия шума [40];

– изменчивость речи: манера говорящего, например, скорость, громкость, болезнь, возраст, эмоции, время суток (например, утренний или вечерний голос) и т.д. Также могут изменяться речевые особенности. Примером является исследование, проведенное Сахидуллой, Чакроборти и Саха (2011) для изучения влияния шести эмоциональных состояний (нейтральное, счастливое, грустное, злое, отвращение и страх) в системах РГ. Определение настроения говорящего также рассматривалось в работах Ахмеда, Кенкеремата и Станковича (2015). [41,42];

2) предварительная обработка речи: этот процесс имеет дело с любыми помехами или сбоями, которые могут повлиять на извлечение признаков. Он в основном пытается удалить шумы и пробелы в тишине. Это важно, потому что шумы и промежутки молчания во входных данных обладают весьма нестационарными характеристиками, которые могут вызвать ложную идентификацию [43];

3) нормализация: это помогает устранить любые изменения, такие как изменчивость и изменчивость между сессиями, которые могут вызывать колебания речевых характеристик за счет потери некоторых характеристик. Эта изменчивость между сессиями происходит из-за изменений в среде записи, условиях передачи, фоновом шуме и изменениях в

голосах ораторов. Одинаковые высказывания говорящего не могут повторяться подобным образом для каждого испытания, то есть высказывание, записанное в одном сеансе, сильно коррелирует с записями в другом сеансе.

Обычной практикой нормализации является использование банков фильтров. Существует два типа методов нормализации, а именно на основе параметров и расстояния (или сходства). Первый тип нормализации доказал свою эффективность для уменьшения влияния длинных спектральных вариаций и линейных каналов. Текстовые системы распознавания говорящих, которые имеют достаточно длинные высказывания, применяют процесс, называемый спектральным выравниванием (так называемое слепое выравнивание), который представляет собой процесс устранения помех или шума с помощью нелинейного сигнала отклика фразы. В этом процессе общее среднее значение кепстральных коэффициентов суммарных высказываний вычитается из усредненных значений кепстральных коэффициентов отдельного кадра;

4) извлечение характеристик: это процесс представления акустического сигнала в качестве специфических акустических характеристик. Функции выбираются так, чтобы наилучшим образом представить акустическую характеристику сигналов для различных типов систем обработки речи. Это подробно обсуждается в следующем разделе.

Моделирование громкоговорителей – это следующий этап фазы обучения РГ, на которой модели громкоговорителей обучаются с использованием извлеченных акустических характеристик громкоговорителей. Эффективность моделей динамиков отражается в точной идентификации динамиков с целью минимизации частоты ошибок. Существует три типа методов моделирования: классические подходы, параметрические подходы, основанные на парадигме обучения, и гибридные методы, в которых применяются методы машинного обучения.

Иерархия для различных подходов к моделированию динамиков:

1. Классический подход. 2. Парадигма обучения. 3. Гибридный подход.

1. Классический подход имеет два типа моделей; основанные на шаблонах модели, основанные на векторном квантовании, динамическом переносе времени или моделях гистограмм, или стохастические модели, основанные на модели гауссовой смеси (GMM) или скрытой марковской модели (HMM).

2. Модели обучающей парадигмы (параметрические подходы) могут быть генеративными (например, GMM или векторное квантование) или дискриминационными моделями (обычно с использованием методов машинного обучения, таких как SVM и ANN).

3. Гибридные подходы представляют собой комбинацию вышеуказанных моделей, таких как GMM-HMM, ANN-HMM и т.д. Кроме того, некоторые подходы, такие как векторное квантование и GMM, могут быть классифицированы как в классической, так и в обучающей парадигмах.

Параметрические подходы соответствуют некоторому распределению обучающих данных путем поиска параметров распределения, которые максимизируют требуемый критерий. Непараметрические подходы, с другой стороны, делают минимальные предположения о распределении признаков.

Процесс обучения может быть в автономном режиме или онлайн. Оффлайн модели обучения требуют фиксированного хранилища спикеров. Для обучения дискриминационных моделей необходимо использовать данные докладчиков из хранилища в качестве отрицательных выборок для распознавания. Кроме того, подходы автономного обучения используются в универсальном фоновом моделировании для уникальной адаптации ораторов на основе векторов их характеристик. Таким образом, для обучения в автономном режиме требуются все известные модели громкоговорителей.

Универсальное фоновое моделирование используется в онлайн-обучении. Тем не менее, модели динамиком принимаются «в режиме онлайн» из обучающих данных докладчиков в режиме реального времени. В част-

ности, модели применяются в режиме реального времени, что делает его более надежным для идентификации неизвестных ораторов (то есть моделей, которые не представлены в обучении). Эта адаптация также помогает ускорить вторую фазу РГ, что объясняется в следующем разделе.

**Распознавание по голосу: этап идентификации или соответствия.** Этап идентификации начинается с параметризации речи, которая была подробно описана в предыдущем разделе. Затем следует этап сопоставления идентификаторов, на котором функции, извлеченные из неизвестных высказываний говорящего, передаются системе для идентификации говорящего. Оценки сходства (то есть вероятность) также получают, сравнивая данное входное высказывание с любой моделью динамика, сохраненной в системе. Сопоставление с образцом является вероятностным в стохастических моделях, где результаты рассчитываются в форме условных вероятностей; с другой стороны, шаблонные модели используют детерминированные подходы.

Соответствующая часть этой фазы обычно применяет алгоритмы сопоставления с образцом, которые указаны выше в одной из моделей.

Он отвечает за идентификацию говорящего путем сопоставления обученных моделей говорящего с использованием извлеченных функций из неизвестного высказывания говорящего. Чтобы определить наилучшее соответствие, процесс идентификации сравнивает высказывание с несколькими моделями громкоговорителей или голосовыми отпечатками.

На протяжении всего планирования определены цели предлагаемой систематическому обзору литературы и выполнены необходимые оценки:

1) определение потребности в систематическом обзоре литературы: в процессе планирования определено, что в области распознавания по голосу не было представлено ни одного недавнего систематического обзора литературы, в котором основное внимание уделяется моделированию динамиком и параметризации речи. Аналогичным об-

разом, в 2010 году был опубликован обзорный документ, в котором рассматривается переход от векторных моделей распознавания по голосу к супервекторным парадигмам между 1980 и 2013 годами. Тем не менее этот обзор не проводился систематически. Более того, недавно было введено несколько новых методов в контексте извлечения признаков распознавания по голосу, которые необходимо систематически пересматривать. В этом документе основное внимание уделяется заполнению этого пробела путем определения и обобщения эволюции выделения признаков в РГ, особенно с 2011 года. Этот систематический обзор также предоставляет исчерпывающую справочную информацию для исследователей РГ;

2) формулировка вопросов: сформулированы следующие вопросы для этого обзора:

- каковы критерии для оптимальных функций и как функция параметров соответствия определяется для процесса извлечения признаков в РГ?

- какие подходы и алгоритмы извлечения признаков используются в процессе идентификации голоса?

- какой самый популярный и успешный подход к извлечению признаков за последние шесть лет?

3) выбор соответствующих ресурсов: процесс расследования проводился в соответствии с руководящими принципами систематического обзора различных методов; процесс поиска проводился с фиксированной датой начала и окончания с указанием месяца и года, как это рекомендовано в Stapic, Lo, Cabot, de Marcos Ortega и Strahonja (2012). Во время поиска были рассмотрены популярные цифровые ресурсы, такие как цифровая библиотека IEEE Xplore, ScienceDirect, цифровая библиотека ACM, Google Scholar, DBLP и Springer Verlag.

Процесс проведения обзора объясняется следующим:

1) идентификация исследования: при первоначальном поиске с использованием распознавания по голосу в качестве ключе-

вого слова без каких-либо фильтров было получено от ScienceDirect, Scopus из цифровой библиотеки. Ресурсы с объединенными результатами из разных источников, таких как Google Scholar и записей соответственно.

В результате изменения ключевого слова на идентификацию голоса и применения фильтра ограничения времени на 2013-2018 гг. было выявлено 78 соответствующих статей. Этот этап дополнительно поясняется на этапе «выбора»;

2) стратегия сбора первичных исследований: значимость отборочных статей, определенных на последнем этапе, была изучена путем тщательного изучения разделов реферата, методологии, обсуждения и результатов каждого документа. Для классификации применялись следующие критерии, и документы, которые не соответствовали им, были исключены:

- в документе обсуждалась идентификация докладчиков для академических или научных электронных библиотек;

- в документе обсуждалась идентификация по голосу с целью предоставления рекомендаций для книг или статей;

- в документе обсуждалась идентификация по голосу с целью предоставления рекомендаций по методам распознавания по голосу для академических или научных электронных библиотек или рекомендаций по научным документам;

- набор данных эксперимента относится к процессу распознавания голоса, который включает в себя извлечение признаков как его часть;

- метод идентификации по голосу, обсуждаемый в статье, создан для академической и научной аудитории;

- метод идентификации по голосу, обсуждаемый в документе, был создан для любого практического использования в биометрических приложениях.

3) извлечение данных и обобщение: для каждого документа следовали правилам систематического обзора различных методов для извлечения и синтеза данных. Работы были включены в короткий список на основе ответов на вопросы исследования, предоставленные исследовательскими материалами.

Для данной ситуации эти признанные темы и критерии представили классификации, приведенные в сегменте выводов и результатов.

Процессор извлечения данных может быть определен как объем классификации, предоставленной на протяжении извлечения данных, а также объем, предоставленный на этапе синтеза данных. Систематический обзор различных методов с рекомендациями не дает подробного и четкого описания процесса извлечения данных. Следовательно, выбрано тривиальное извлечение данных, что привело к записи цитат, которые были лишь незначительно переписаны; на этапе синтеза такие цитаты были ранней классификации. В этом разделе показаны частоты количества раз, когда каждый субъект распознается в различных источниках, в которых каждому событию соответствовал одинаковый вес. Такие частоты отражают только то, как часто данный вопрос выделяется в различных статьях. Тем не менее, невозможно определить, насколько это важно.

### Заключение

В данной статье представлен систематический обзор различных методов извлечения признаков и алгоритмов идентификации голосов. Были использованы научные рекомендации для извлеченных публикаций из различных источников. Представлен общий процесс РГ с последующим подробным обзором различных процессов извлечения признаков. Также обсуждалась важность выявления значимых особенностей и их влияние на точность идентификации говорящего.

В этом исследовании было рассмотрено около 557 публикаций с 2011 года с использованием методологии систематического обзора. Первоначально составили базу данных, извлекая 557 статей, за которыми следовал четырехуровневый процесс фильтрации и применяя критерии, такие как период, язык и т.д. В результате тщательного изучения этих статей было получено 65 публикаций, которые были изучены для данного обзора литературы. Рассматривая эти статьи, можно увидеть, что большинство подходов к извлечению признаков применяют форму MFCC независимо от алгоритма, используемого для фазы классификации голосов.

В литературе не рекомендуется применять комплексный подход для построения строгих рекомендаций. Следовательно, здесь использовались рекомендации, основанные на подходах, включенных в различные научные статьи. Этот обзор литературы может служить ресурсом для извлечения признаков в отношении идентификации по голосу.

Исходя из выводов этого исследования, рекомендуются следующие направления будущих исследований.

1. Следует отметить, что не существует обобщенного подхода к обобщению универсальных признаков, и данное исследование подчеркивает его необходимость. Однако многие исследовательские проблемы направлены на то, чтобы сохранить компромисс между точностью идентификации по голосу и устойчивостью к шуму, который все еще требует большого внимания.

Рекомендуется в будущих исследованиях изучить вопрос о разработке надежной универсальной структуры для идентификации по голосу, которая решает важные проблемы распознавания по голосу.

2. В будущих исследованиях следует дополнительно изучить их применение в распознавании по голосу как в качестве экстрактора признаков, так и в качестве классификатора, а также выяснить, как они могут внести вклад в универсальную структуру идентификации по голосу.

3. Была проведена ограниченная работа по методам идентификации неконтролируемых динамик, которые включают создание моделей динамик на основе функций, извлеченных из немаркированных данных.

4. Аналогичным образом, извлечение отличительных признаков динамика из неполных, подделанных или поврежденных данных не было должным образом изучено, несмотря на их широкое применение в криминалистике и восстановлении данных. Необходимо систематически изучать, как работают существующие подходы распознавания по голосу, когда им дают подделанные данные, и исследовать методы для улучшения их производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Jain L.Hang and S. Pankanti. "Can multi-biometrics improve performance," Proceedings of Auto ID, 59-64, 1999.
2. Dutta, M., Patgiri, C., Sarma, M., & Sarma, K. K. (2015). Closed-set text-independent speaker identification system using multiple ANN classifiers. In Proceedings of the 3rd international conference on frontiers of intelligent computing: Theory and applications (FICTA) 2014 (pp. 377–385).
3. Islam, M. R., & Rahman, M. F. (2009). Improvement of text dependent speaker identification system using neuro-genetic hybrid algorithm in office environmental conditions. *International Journal of Computer Science Issues*, 1, 42–48.
4. Kekre, H. B., Athawale, A., & Desai, M. (2011). Speaker identification using row mean vector of spectrogram. In Proceedings of the international conference and workshop on emerging trends in technology (pp. 171–174).
5. Boujelbene, S. Z., Mezghanni, D. B. A., & Ellouze, N. (2009). Robust text independent speaker identification using hybrid GMM-SVM System. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 3, 103–110.
6. Revathi, A., & Venkataramani, Y. (2009). Text independent composite speaker identification/verification using multiple features. In 2009 WRI World congress on computer science and information engineering: 7 (pp. 257–261).
7. Verma, G. K. (2011). Multi-feature fusion for closed set text independent speaker identification. In International conference on information intelligence, systems, technology and management (pp. 170–179).
8. Richardson, F., Reynolds, D., & Dehak, N. (2015a). Deep neural network approaches to speaker and language recognition. *IEEE Signal Processing Letters*, 22, 1671–1675.
9. Farrell, K. R., Mammone, R. J., & Assaleh, K. T. (1994). Speaker recognition using neural networks and conventional classifiers. *IEEE Transactions on speech and audio processing*, 2, 194–205.
10. Hong Kong, China: IEEE. Larcher, A., Lee, K. A., Ma, B., & Li, H. (2014). Text-dependent speaker verification: Classifiers, databases and RSR2015. *Speech communication*, 60, 56–77.
11. Lippmann, R. P. (1989). Review of neural networks for speech recognition. *Neural computation*, 1, 1–38.
12. Sidorov, M., Schmitt, A., Zablotskiy, S., & Minker, W. (2013). Survey of automated speaker identification methods. In 2013 9th international conference on intelligent environments (IE) (pp. 236–239).
13. Dis, ken, G., Tüfekçi, Z., Saribulut, L., & Çevik, U. (2017). A review on feature extraction for speaker recognition under degraded conditions. *IETE Technical Review*, 34, 321–332.
14. Rao, K. S., & Sarkar, S. (2014a). Robust speaker verification: A review. In Robust speaker recognition in noisy environments (pp. 13–27).
15. Chavan, M., & Chougule, S. (2012). Speaker features and recognition techniques: A review. *International Journal of Computational Engineering Research*, 2, 720–728.
16. S.S. Tirumala et al. / *Expert Systems With Applications* 90 (2017) 250–271.
17. Nagaraja, B. G., & Jayanna, H. S. (2012). Multilingual speaker identification with the constraint of limited data using multitaper MFCC. In International conference on security in computer networks and distributed systems (pp. 127–134).
18. Lawson, A., Vabishchevich, P., Huggins, M., Ardis, P., Battles, B., & Stauffer, A. (2011). Survey and evaluation of acoustic features for speaker recognition. In Acoustics, speech and signal processing (ICASSP), 2011 IEEE international conference on (pp. 5444–5447).

19. Daoudi, K., Jourani, R., Andre, O. R. e. g., & Aboutajdine, D. (2011). In Speaker identification using discriminative learning of large margin GMM: 6 (pp. 300–307).
20. Shih, P.-Y., Lin, P.-C., Wang, J.-F., & Lin, Y.-N. (2011). Robust several-speaker speech recognition with highly dependable online speaker adaptation and identification. *Journal of network and computer applications*, 34, 1459–1467.
21. Jiang, S., Frigui, H., & Calhoun, A. W. (2015). Speaker identification in medical simulation data using fisher vector representation. In 2015 IEEE 14th international conference on machine learning and applications (ICMLA) (pp. 197–201).
22. Anguera, X., Bozonnet, S., Evans, N., Fredouille, C., Friedland, G., & Vinyals, O. (2012). Speaker diarization: A review of recent research. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20, 356–370 6.
23. Poignant, J., Besacier, L., & Quénot, G. (2015). Unsupervised speaker identification in TV broadcast based on written names. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 23, 57–68.
24. Jin, Q., Toth, A. R., Schultz, T., & Black, A. W. (2009). Speaker de-identification via voice transformation (pp. 529–533).
25. Justin, T., Struc, V., Dobrisek, S., Vesnicer, B., Ipsic, I., & Mihelic, F. (2015). In Speaker de-identification using diphone recognition and speech synthesis: 4 (pp. 1–7).
26. Pobar, M., & Ipsic, I. (2014). Online speaker de-identification using voice transformation. In 2014 37th International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (mipro) (pp. 1264–1267).
27. Haigh, J. A., & Mason, J. S. (1993). Robust voice activity detection using cepstral features. In 1993 IEEE Region 10 conference on proceedings. computer, communication, control and power engineering (TENCON'93): 3 (pp. 321–324).
28. Ram, i.r. J., Segura, J. e. C., Ben, i,t. C., De La Torre, A., & Rubio, A. (2004). Efficient voice activity detection algorithms using long-term speech information. *Speech Communication*, 42, 271–287.
29. Beigi, H. (2011). Speaker Modeling. In *Fundamentals of speaker recognition* (pp. 525–541).
30. Ganchev, T. (2011). Contemporary methods for speech parameterization. pp. 233–236.
31. Kawakami, Y., Wang, L., Kai, A., & Nakagawa, S. (2014). Speaker identification by combining various vocal tract and vocal source features. In *International conference on text, speech, and dialogue* (pp. 382–389).
32. Kawakami, Y., Wang, L., & Nakagawa, S. (2013). Speaker identification using pseudo pitch synchronized phase information in noisy environments. In 2013 Asia-Pacific on signal and information processing association annual summit and conference (APSIPA) (pp. 1–4).
33. Tanprasert, C., & Achariyakulporn, V. (2000). Comparative study of GMM, DTW, and ANN on Thai speaker identification system. *Sixth international conference on spoken language processing, ICSLP 2000 / INTERSPEECH 2000*.
34. Luengo, I., Navas, E., Sainz, I. n. a., Saratxaga, I., Sanchez, J., & Odriozola, I. (2008). Text independent speaker identification in multilingual environments. In *Proceedings of the international conference on language resources and evaluation, LREC 2008*.
35. Sarma, M., & Sarma, K. K. (2013a). Speaker identification model for Assamese language using a neural framework. In *The 2013 international joint conference on neural networks (IJCNN)* (pp. 1–7).
36. Jawarkar, N. P., Holambe, R. S., & Basu, T. K. (2012). Text-independent speaker identification in emotional environments: A classifier fusion approach. In *Frontiers in Computer Education* (pp. 569–576).
37. Jawarkar, N. P., Holambe, R. S., & Basu, T. K. (2015). Effect of nonlinear compression function on the performance of the speaker identification system under noisy conditions. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Perception and Machine Intelligence* (pp. 137–144).

38. Nagaraja, B. G., & Jayanna, H. S. (2012). Multilingual speaker identification with the constraint of limited data using multitaper MFCC. In International conference on security in computer networks and distributed systems (pp. 127–134).
39. Wang, L., Zhang, Z., & Kai, A. (2013). Hands-free speaker identification based on spectral subtraction using a multi-channel least mean square approach. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 7224–7228).
40. Busso, C., Hernanz, S., Chu, C.-W., Kwon, S.-i., Lee, S., & Georgiou, P. G. (2005). Smart room: Participant and speaker localization and identification. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing: 2. IEEE.
- Campbell, J. P. (1997). Speaker recognition: A tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 85, 1437–1462.
41. Sahidullah, M., Chakroborty, S., & Saha, G. (2011). Improving performance of speaker identification system using complementary information fusion. In Proceedings of 17th international conference on advanced computing and communications (pp. 182–187).
42. Ahmed, M. Y., Kenkeremath, S., & Stankovic, J. (2015). Socialsense: A collaborative mobile platform for speaker and mood identification. In *Wireless sensor networks*: 8965 (pp. 68–83).
43. Farhood, Z., & Abdulghafour, M. (2010). Investigation on model selection criteria for speaker identification. In 2010 International symposium in information technology (ITSim): 2–6 (pp. 537–541).

УДК 004.934

МРНТИ 28.23.15; 28.23.37

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ КАЗАХСКОЙ РЕЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DNN

О.Ж. МАМЫРБАЕВ<sup>1</sup>, М. ТҰРДАЛЫҰЛЫ<sup>1</sup>, Н.О. МЕКЕБАЕВ<sup>1,2</sup>,  
Т. ТҰРДАЛЫҚЫЗЫ<sup>1</sup>, А.С. ШАЯХМЕТОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

**Аннотация:** В этой работе описан один из направлений в области искусственного интеллекта системы распознавания речи. Сравнивая речи казахского и других языков, определили главные проблемы автоматического распознавания данного языка. Одним из главных проблем является отсутствие речевых данных, для чего проводились работы по сбору акустических данных казахского языка. В целях дальнейшего продолжения исследовательских работ, связанных с казахским языком, были идентифицированы личные данные дикторов. Описаны алгоритмы обработки речевых сигналов, осуществлено обучение по акустическому и языковому моделированию, проведены исследовательские и практические работы. Получены тестовые результаты распознавания речи с помощью глубоких нейронных сетей. Рассмотрены сравнения с результатами традиционных моделей и определены лучшие стороны глубоких нейронных сетей DNN – Deep Neural Network.

**Ключевые слова:** распознавание речи казахского языка, системы распознавания речи, глубокие нейронные сети, DNN, обработка речевых сигналов

## AUTOMATIC KAZAKH SPEECH RECOGNITION WITH DNN

**Abstract:** This paper describes one of the areas in the field of artificial intelligence speech recognition systems. Comparing the speeches of Kazakh and other languages, they identified the main problems of automatic recognition of this language. One of the main problems is the lack of speech data, for which work was carried out to collect acoustic data of the Kazakh language. In order to continue the research work related to the Kazakh language, the personal data of the announcers were identified. Algorithms for processing speech signals, learning acoustic and language modeling are described and research and practical work is carried out. Test results of speech recognition using deep neural networks were obtained. Comparisons with the results of traditional models and the best DNN (Deep Neural Network) aspects.

**Keywords:** Kazakh language speech recognition, speech recognition systems, deep neural networks, DNN speech processing

## DNN ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚША СӨЙЛЕУІН АВТОМАТТЫ ТАҢУ

**Аңдатпа:** Бұл жұмыста жасанды интеллекттің бір саласы сөйлеуді тану жүйесі сипатталған. Қазақ тілі мен басқа тілдердің зерттеулері салыстырылып, қазақ тілі сөйлеуін автоматты тануының мәселелері анықталған. Оның басты мәселесінің бірі зерттеу жұмыстарына арналған сөйлеу деректерінің болмауы, сондықтан қазақ сөйлеуінің акустикалық деректерін жинау жұмыстары баяндалды. Болашақта өзге де зерттеу жұмыстарын жүргізу мақсатында әрбір дикторға сәйкес жеке ақпараттарын сақтау форматы анықталды. Сөйлеу сигналдарын өңдеу, акустикалық және тілдік модельдерді оқытуға арналған алгоритмдер сипатталып, зерттеу және тәжірибелік жұмыстары жүргізілді. Терең нейрондық желі (DNN – Deep Neural Network) көмегімен сөйлеуді тану жүйесінің тесттік нәтижелері алынды. Олар дәстүрлі модельдердің нәтижелерімен салыстырылып, артықшылықтары ашып көрсетілді.

*Түйінді сөздер:* қазақ тілі сөйлеуін тану, сөйлеуді тану жүйелері, терең нейрондық желілер, DNN сөйлеу сигналдарын өңдеу

## Введение

Создание естественно-языковых человеко-машинных интерфейсов и в частности систем автоматического распознавания речи в последнее время становится одним из основных направлений и задач в области искусственного интеллекта. Речевые технологии обеспечивают более естественное взаимодействие пользователя с вычислительными и телекоммуникационными комплексами по сравнению со стандартным графическим интерфейсом.

С развитием персональных компьютеров и широкого спектра общедоступных информационно-развлекательных сервисов речевые, а затем и мультимедийные интерфейсы теперь более ориентированы на применение в социальных интеллектуальных сервисах, что накладывает свои условия к системам обработки речи. В частности, увеличивается словарь лексических единиц, повышается вариативность речи, а обработка должна вестись в режиме реального времени, чтобы поддерживать естественность диалога с пользователем. Разработка компактного способа представления словаря особенно актуальна для агглютинативных языков с относительно богатой морфологией. Для учета вариативности и обучения моделей фонем и слов требуются гигантские текстовые и речевые материалы, подготовка которых требует скрупулезной экспертной работы.

В работе [1] были проанализированы три типа речевых сбоев, наиболее характерных для спонтанной речи: 1) озвученная пауза; 2) повтор слов; 3) модификация предложения с самого начала. В качестве материала были использованы речевые корпусы.

SpokenDutchCorpus(CGN) и Switchboard-1. Число озвученных пауз составило 3% всех лексических единиц в данных корпусах. Чаще всего это были междометия, и располагались они во всех частях предложений. Относительное количество повторов было равно примерно 1%. Причем двадцать наиболее частых повторов – это короткие слова, состоящие из одного слога.

В работе [2] применен аудиовизуальный детектор озвученных пауз для фильтрации нежелательных речевых сбоев в мультимедийных записях лекций. Записанный мультимедийный корпус лекций длительностью около 7 часов содержал изображение экрана планшетного компьютера, на котором лектор делал рукописные записи, отображаемые для слушателей на мультимедийном проекторе, а также звуковой поток с речью лектора и фоновым шумом. Анализ корпуса показал, что подавляющая часть хезитаций возникает, когда лектор не использует планшет, поэтому для фильтрации пауз применялся двухэтапный алгоритм. В первую очередь определялись моменты времени, когда изображение на экране монитора не менялось, а затем только в эти периоды времени осуществлялся поиск заполненных пауз в звуковом потоке. При анализе рассматривались озвученные паузы длительностью более 120 мс, произнесенные изолированно (т.е. те, которые содержали сегменты с тишиной до и после хезитации), а также внутри слова. Применение предварительной сегментации звуковых участков и анализ видеоизображения с планшета позволили увеличить точность распознавания хезитаций до 85%.

Бурное развитие речевых технологий связано с развитием искусственных нейронных сетей и сейчас приобретает все большую популярность, исследований по применению DNN для распознавания казахской речи. При этом эффективных систем автоматического распознавания казахской речи на данный момент фактически нет и разработка ASR актуальна.

В данной статье рассматривается метод создания системы автоматического распознавания речи с помощью DNN с применением инструментальных средств Kaldi. В данном исследовании был расширен существующий речевой корпус, собран речевой и текстовый корпус для казахского языка, а также созданы

на основе ИНС акустические и языковые модели, позволяющие повысить точность распознавания казахской речи.

Для предварительной обработки речи мы применяли следующие алгоритмы: мел-кепстральные коэффициенты (MFCC) и перцепционные коэффициенты линейного предсказания (PLP). Для акустического моделирования использует скрытую Марковскую модель (HMM), модель смеси Гауссовских распределений (GMM), модели подпространства Гаусовских смесей (SGMM) и глубокие нейронные сети (DNN). Языковое моделирование выполняется посредством конечных преобразователей (FSTs) с поддержкой линейной алгебры – библиотеки BLAS и LAPACK.

Статья организована следующим образом. В разделе 2 описываются работы по соответствующему научному направлению исследования. В разделе 3 рассматриваются методы предварительной обработки данных. В разделе 4 описывается методология автоматического распознавания речи. В разделе 5 описывается архитектура DNN и в разделе 6, 7 рассматриваются результаты эксперимента и заключение.

### **Связанные работы**

В настоящее время в исследованиях часто применяется DNN для распознавания речи и результаты исследования показывают хорошие результаты. Например в исследованиях [3] представлена система распознавания спонтанной чешской, словацкой и русской речи для обработки интервью очевидцев холокоста. В данной работе базовые транскрипции создавались автоматически с использованием определенного набора правил, при этом для многих слов генерировались несколько вариантов транскрипций для учета фонетических явлений слитной речи (например, ассимиляции согласных на границе слов). Затем создавались транскрипции, описывающие разговорные варианты произношения, а для русского языка и акцент, поскольку интервью были взяты не только у жителей России, а также у русских, живущих в Украине, Израиле, США. Кроме того, моделировались нерече-

вые явления. Размер корпуса, использовавшегося для создания акустических моделей для русского языка, составлял 100 часов и применялся DNN. Модель языка представляла собой биграммную модель с применением методики возврата (Katz's backing-off scheme). При размере словаря в 79 тыс. транскрипций процент неправильно распознанных слов составил 38,57%.

Другим классом прикладных задач распознавания речи является стенографирование.

Чаще всего при такой задаче производится обработка некоторого монолога, записанного в достаточно хороших акустических условиях при помощи микрофона-гарнитуры. Поэтому в отличие от систем массового обслуживания, где речь поступает через телефонные каналы и/или записывается на улице, системы автоматического стенографирования получают речевой сигнал с гораздо лучшим качеством записи. Так как здесь предъявляются более мягкие требования по скорости распознавания, то система может обработать речевой сигнал за несколько проходов, используя методы адаптации к голосу диктора и прикладной задаче [4].

Ученые из России проводили исследование по распознаванию слитной русской речи, использующие DNN доверия, что описано в работе [5]. Для распознавания речи был применен метод, использующий преобразователи на основе конечных автоматов. Было показано, что предложенный метод позволяет повысить точность распознавания речи по сравнению со скрытыми марковскими моделями.

В исследовании [6] проводится сравнение моделей языка, построенных с помощью нейронной сети прямого распространения и рекуррентной нейронной сети. Использовались три различных реализации модели языка на нейронных сетях: 1) программные средства LIMSI для создания нейронной сети прямого распространения, в которой выходной слой ограничен наиболее частыми словами; 2) нейронная сеть прямого распространения с кластеризацией (используется весь словарь);

3) рекуррентная нейронная сеть с кластеризацией. Результаты экспериментов показали, что модели языка, построенные с использованием нейронной сети прямого распространения, работают хуже, чем рекуррентные нейронные сети. На тестовых данных рекуррентная сеть показала улучшение на 0,4% по сравнению с использованием нейронной сети прямого распространения.

### Предварительная обработка речевого сигнала

Преобразование входных данных в набор признаков называется извлечением признаков. Эффективность распознавания речи резко ухудшается при наличии шума из-за спектрального рассогласования между данными обучения и тестирования. При обычном извлечении признаков MFCC функция логарифма применяется для энергий банка фильтров Mel, чтобы уменьшить их динамический диапазон. Корневой кепстральный анализ заменяет логарифмическую функцию с постоянной корневой функцией и дает коэффициенты RSC. Коэффициенты RSC показали лучшую устойчивость к шуму. В методе RSC спектр сжатой речи вычисляется как показано в (1):

$$L_d(n) = L(n)^\tau, \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (1)$$

где  $L_d(n)$  – сжатый спектр,  $L(n)$  является исходным спектром,  $\tau$  является коэффициентом сжатия, а  $m$  – индекс банка фильтра. Извлечение признаков включает в себя упрощение объема ресурсов, необходимых для точного описания большого набора данных. Извлечение признаков производилось с помощью 13 коэффициентов MFCC [7].

Поэтому соотношение (1) расширяется, как показано в (2):

$$L_d(n) = L(n)^{\tau(m)}, \quad 0 \leq \tau(m) \leq 1 \quad (2)$$

где коэффициент сжатия зависит от полосы частот и называется неравномерным спектральным сжатием. Рассмотрено, как путем включения системы распознавания речи в процесс настройки коэффициента сжатия скорость распознавания дополнительно улучшается.

### Предлагаемая система

#### автоматического распознавания речи

Методология данной работы выполняется следующим образом:

- разработка надежной универсальной структуры для ИГ;
- изучение их применения в распознавании по голосу.

### Конструкция экспериментального корпуса речи

За последние десять лет в мире создан ряд корпусов речи, содержащих до тысячи дикторов, записанных в различных окружающих условиях. Запись акустических данных для создания акустического корпуса языка проводилась в Институте информационных и вычислительных технологий КН МОН РК в г. Алматы. Для этого использовалась шумоизоляционная, профессиональная звукозаписывающая студия фирмы Vocalbooth.com. Кабина для записи аудиоданных состоит из двух шумоизоляционных слоев с такой же герметичной дверью. Внутреннее оформление состоит из пирамиды образного звукопоглощающего акустического материала красного цвета и кабина оборудована бесшумной системой воздухообмена. Студия предназначена для записи аудиоданных высокого качества.

Записанные аудиоматериалы сохранились с расширением .wav. Каждое предложение сохранялось как отдельные файлы, а название состояло из следующих идентификаторов:

<Код\_региона> + <пол> + <год\_рождения> + <инициалы\_ФИО> + <код\_образования> + <номер\_текста> + <номер\_предложения\_в\_тексте>

Например: диктор родом с Алматинской области с именем Турдалыулы Муса, мужского пола, 1990 г.р., с высшим образованием озвучил текст номер 5, и предложение 82 будет идентифицироваться как 05M90MT3\_T005\_S082.

Все аудиоматериалы имеют одинаковые характеристики:

- расширение файла: .wav;

– метод преобразования в цифровой вид: РСМ

- дискретная частота: 8 кГц;
- разрядность: 16 бит;
- количество аудиоканалов: один (моно).

В качестве дикторов были отобраны люди без каких-либо проблем с произношением речи. Для научно-исследовательских целей и дальнейшего использования данных производилось анкетирование дикторов по заранее созданному шаблону (рисунок 1).

Для записи использовались речи 200 дикторов разных возрастов (возраст от 18 до 50 лет) и полов. Озвучивание и запись одного диктора занимало в среднем 40-50 минут времени. Для каждого диктора был подготовлен текст, состоящий из 100 предложений, которые были записаны в отдельные файлы. Каждое предложение состоит в среднем из 6-8 слов. Предложения выбраны с максимально богатой фонемой слов. Текстовые данные были собраны с новостных сайтов на казахском языке, а также были использованы другие материалы в электронном виде. Всего записано 76 часов аудиоданных. Во время записи были созданы транскрипции – описание каждого аудиофайла в текстовом файле. Созданный корпус дает нам, во-первых, работу с большими объемами баз данных, проверку предлагаемых характеристик системы и, во-вторых, исследование влияния расширения базы данных на скорость распознавания.

#### **Акустическая модель**

Акустическая модель  $p(x|w)$  обеспечивает условную вероятность последовательности векторов признаков  $x$  при заданной последовательности слов  $w$ . Это можно рассматривать как меру акустического сходства входных признаков с последовательностью слов, независимо от грамматической правильности этой последовательности слов. Для системы ASR каждое слово может быть представлено последовательностью единиц подслов, называемых акустическими состояниями. Во время обучения акустической модели статистика каждого состояния рассчитывается на основе векторов признаков, со-

ответствующих этому состоянию. Для ASR с очень большими размерами словарного запаса в тысячи слов из-за нехватки данных не представляется возможным накапливать достаточную статистику для каждого слова в отдельности. Мы хотели бы распознать даже те слова, которые могут встречаться редко или вообще не встречаться в данном обучении. Чтобы облегчить эту проблему, слова определяются как последовательности фонетических единиц, называемых фонемами, точно также, как произношения слов представлены в языковых словарях. Такое представление, основанное на единицах подслов, называется лексикой произношения. Каждое слово в лексиконе может иметь одно или несколько произношений.

#### **Языковая модель казахского языка**

Языковая модель – позволяют определить наиболее вероятные словные последовательности. Сложность построения языковой модели во многом зависит от конкретного языка. Так, для английского языка достаточно использовать статистические модели (так называемые N-граммы). Для агглютинативных языков с относительно богатой морфологией статистические модели не подходят и используются гибридные модели.

Языковая модель  $p(w)$  дает априорную вероятность последовательности слов  $w$ . В основном это показывает, насколько вероятно произнесение последовательности слов, основываясь на грамматических правилах языка. Поскольку эта модель зависит только от текста и не зависит от акустических данных, поэтому в качестве источника входных данных может использоваться большое количество текста, доступного в книгах, журналах, статьях и т.д. Кроме того, мы хотим, чтобы языковая модель собирала информацию по конкретным темам для специальных систем APP. Для захвата определенных характеристик, связанных с человеческой речью, например, некоторые грамматические ошибки, часто встречающиеся в речи, повторениях, колебаниях и т.д., транскрипции устного текста также являются полезным источником

входных данных. Поскольку общее число возможных последовательностей слов не ограничено, необходимо сделать упрощающие предположения, чтобы иметь надежные не разреженные оценки. Стандартный способ вычисления вероятностей языковой модели – накопление количества соседних слов. Предполагается, что вероятность текущего

слова  $w_n$  зависит только от предыдущих слов  $w_{n-1} \dots w_{n-m+1}$ .

Распознавание речи включает в себя ряд различных компонентов, таких как извлечение признаков, акустическое моделирование, моделирование языка и DNN, как показано на рисунке 1.



Рис. 1 – Обзор системы ASR

**Архитектура DNN и обучение**

Для разработки ASR мы использовали инструментальное средство Kaldi и в нем библиотеку DNN, для обучения использовалась модифицированная настройка Karel Vesely на графическом процессоре CUDA.

Рассмотрим модель DNN: где выходной слой –  $L, L + 1, \dots$

Во первых слою  $L$

$$v^l = f(z^l) = f(W^l v^{l-1} + b^l), \text{ для } 0 < l < L,$$

где,  $z^l = W^l v^{l-1} + b^l \in R^{N_l \times 1}, v^l \in R^{N_l \times 1}$ ,

$W^l \in R^{N_l \times N_{l-1}}, b^l \in R^{N_l \times 1}$ , и  $N_l \in R$  соответственно, вектор возбуждения, вектор активации, весовая матрица, векторы смещения и число нейронов в слое  $l$ .  $v^0 = 0 \in R^{N_0 \times 1}$  – это вектор наблюдения,  $N_0 = D$  то размер элемента и  $f(\cdot): R^{N_l \times 1} \rightarrow R^{N_l \times 1}$  функция активации

применительно к вектору возбуждения поэлементно. В большинстве приложений сигмоидная функция

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

или функции гиперболического тангенса

$$\tanh(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}$$

используются в качестве функции активации. Далее рассмотрим алгоритм для данной модели [8].

**Алгоритм Прямое вычисление DNN.**

1: **procedure** ForwardComputation(O)

> Каждый столбец O является вектором наблюдения

2:  $V^0 \leftarrow O$

3: **for**  $l = 1; l < L; l + 1$  **do**

>  $L$  общее количество слоев

4:  $Z^l \leftarrow W^l V^{l-1} + B^l$

> Каждый столбец  $B^l$  это  $b^l$

5:  $V^l \leftarrow f(Z^l)$   $> f(.)$  может быть сигмоидальной  $\tanh$ , ReLU, другие функции

```

6: end for
7:  $Z^L \leftarrow W^L V^{L-1} + B^L$ 
8: if regression then
> задача регрессии
9:  $V^L \leftarrow Z^L$ 
10: else
11:  $V^L \leftarrow \text{softmax}(Z^L)$ 
12: end if
13: Return  $V^L$ 
14: end procedure
    
```

Во время обучения использован алгоритм одноступенчатой отборки по методу Монро-Карло в цепи Маркова. RBM имеет единицы Гаусса-Бернулли и обучается начальной скоростью обучения 0,01, а другие RBM имеют подразделения Бернулли-

Бернулли. Обучение не контролировалось, число итераций было равным 4, количество скрытых слоев до 6 и количество единиц на слой до 2048.

### Результаты эксперимента

В ходе этой работы были исследованы методы извлечения признаков, такие как MFCC и акустическая языковая модель, DNN. Полученные результаты были оценены по коэффициенту ошибок слова (WER) для классических моделей. Результаты, обозначающие вертикальную ось – это процентное соотношение, а горизонтальную – обучение монофоническим моделям (Mono), проход первого (Tri1) и второго (Tri2) и третьего (Tri3) тирифона (рисунок 2). Наилучший результат – 36,76% WER для SAT Training.

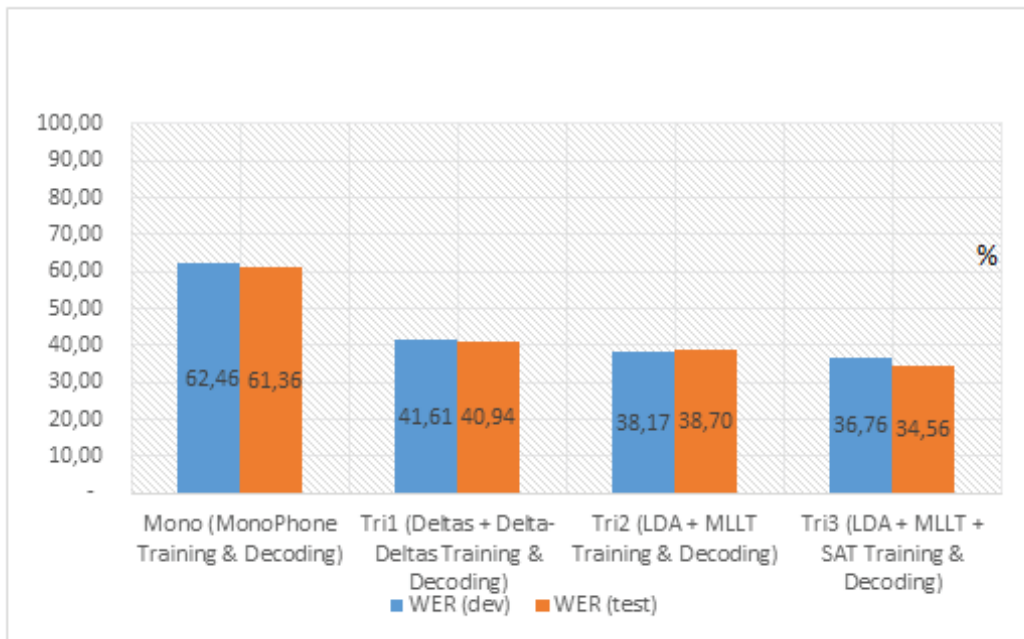


Рис. 2 – Набор правил классической модели

Получены результаты с применением DNN с использованием от 0 до 6 скрытых слоев. Оптимальный результат 32,72% WER

был получен для 6 скрытых слоев, и это было улучшение по сравнению с классическими моделями (рисунок 3).

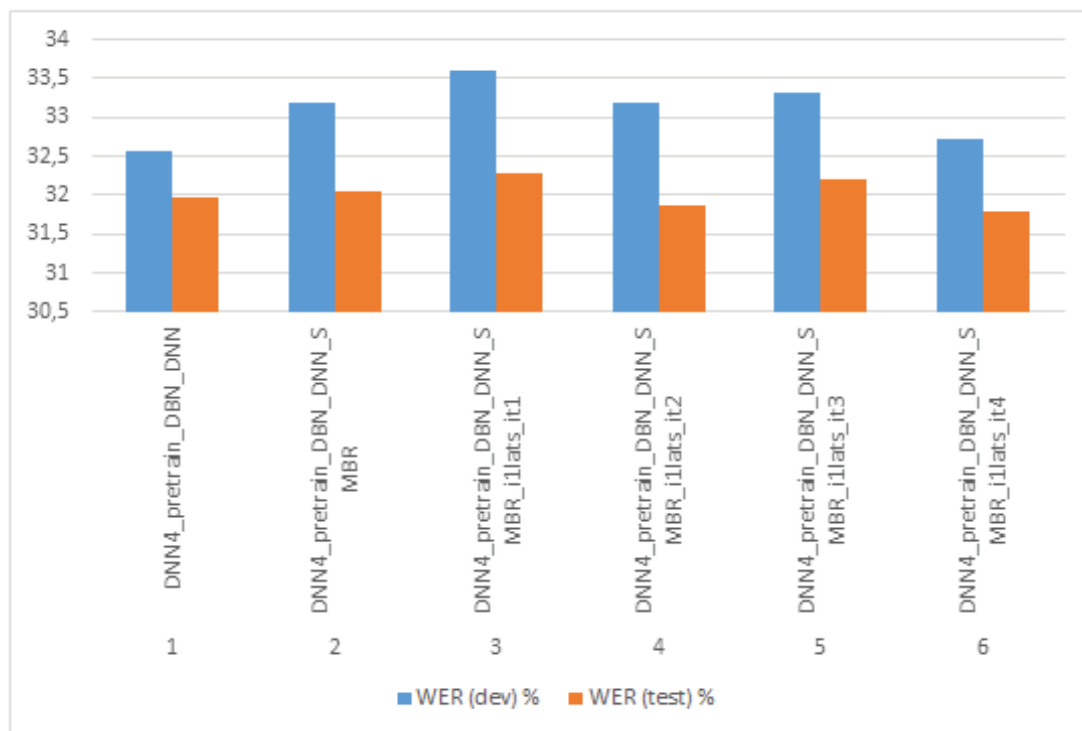


Рис. 3 – DNN на основе 6 скрытых слоев

Важно отметить, что производительность улучшается, когда объем корпуса для обучения большой. Наилучшие результаты были получены с помощью DNN и алгоритмом SMBR.

#### Заключение и будущая работа

В этой статье авторы разработали и внедрили систему автоматического распознавания речи казахской речи, которая работает на основе DNN. По результатам исследования можно увидеть, что для автоматического распознавания речи лучше использовать DNN, чем классические алгоритмы. В работе был

сделан анализ существующих моделей и методов, рассмотрен алгоритм сжатия речи с помощью алгоритма MFCC и приведен пример архитектуры ASR. В связи с этим было указано, что наилучшие результаты обеспечили методы MFCC и DNN. Коэффициент ошибок теста достиг 0,56% для корпуса с 76 часами речи.

Будущая работа будет направлена на совершенствование учебного корпуса и изучение различных подходов к оптимизации для проектирования и внедрения ASR для приложений реального времени, таких как роботы с управлением голосом.

Данная работа была выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан. ИРН AP05131207 «Разработка технологии мультязычного автоматического распознавания речи с использованием глубоких нейронных сетей».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Stouten F., Duchateau J., Martens J.-P., Wambacq P. Coping with disfluencies in spontaneous speech recognition: acoustic detection and linguistic context manipulation // Speech Communication. 2006. Vol. 48. pp. 1590–1606.
2. Tsiaras V., Panagiotakis C., Stylianou Y. Video and audio based detection of filled hesitation pauses in classroom lectures // Proc. of the 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009). Glasgow, Scotland, August 24–28, 2009. pp. 834–838.

3. Psutka J., Ircing P., Psutka J.V., Hajič J., Byrne W.J., Mirovsky J. Automatic Transcription of Czech, Russian, and Slovak Spontaneous Speech in the MALACH Project // Proceedings of Eurospeech. Lisboa. Portugal. Sept. 4–8. 2005. pp. 1349–1352.
4. Young S. et al. The HTK Book (for HTK Version 3.4). Cambridge. UK, 2009. 375 p.
5. Karpov A., Kipyatkova I., Ronzhin A. Very Large Vocabulary ASR for Spoken Russian with Syntactic and Morphemic Analysis. In Proc. INTERSPEECH-2011, Florence, Italy, 2011, pp. 3161-3164.
6. Serizel, R., Giuliani, D.: Vocal tract length normalization approaches to DNN-Based children's and adults' speech recognition. IEEE Workshop on Spoken Language Technology, pp. 135-140. 2014.
7. Behbahani, Yasser Mohseni, Babaali, Bagher, Turdalyuly Mussa Persian sentences to phoneme sequences conversion based on recurrent neural networks // Open Computer Science. – 2016. - Issue-6. - P. 219–225.
8. Dong Yu, Li Deng Automatic Speech Recognition // Shpringer. -2014. P. -315.

УДК 521.1  
МРНТИ 30.51.37

## ӨСТІК СИММЕТРИЯЛЫ БЕЙСТАЦИОНАР ЕКІ ДЕНЕНІҢ ІЛГЕРІЛЕМЕЛІ – АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕРІ

М.ДЖ. МИНГЛИБАЕВ, С.Б. БИЖАНОВА

*әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті*

**Аңдатпа:** Мақалада массалары және өлшемдері айнымалы өзара гравитациялаушы өстік симметриялы бейстационар екі аспан денелерінің ілгерілемелі – айналмалы қозғалысы абсолютті, салыстырмалы және барицентрлік координат жүйелерінде қарастырылды және олардың қозғалысының дифференциалдық теңдеулері қорытылып шығарылды. Бейстационар өстік симметриялы денелердің екінші ретті инерция моменттері айнымалы. Өстік симметриялы денелер үшін меншікті координаталар жүйесінің өстері дененің бас инерция өстерімен сәйкес келеді және бұл күй эволюция барысында өзгеріссіз қалады. Денелердің массасы әртүрлі қарқында изотропты өзгереді. Ньютондық күштік функцияның мәні жуықталған, ол екінші гармоникамен шектелген.

**Түйінді сөздер:** айнымалы масса, өстік симметриялы дене, ілгерілемелі – айналмалы қозғалыс, күштік функция

## DIFFERENTIAL EQUATION OF TRANSLATIONAL – ROTATIONAL MOTION OF TWO NONSTATIONARY AXISYMMETRIC BODIES

**Abstract:** In this article we consider translational – rotational motion of two mutually gravitating celestial bodies with variable mass and with variable sizes in absolute and barycentric coordinate systems and their differential equation of motion. The moments of inertia of the second type of axisymmetric bodies are variable. The axes of the own coordinate system for axisymmetric bodies coincide with the main axes of inertia, and this position remains unchanged during evolution. Masses of bodies change isotropic in the different rates. Newtonian interaction force is characterized by an approximate expression of the force function, taking into account the second harmonic.

**Keywords:** variable mass, axisymmetric body, translational – rotational motion, force function

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ТЕЛ

**Аннотация:** В работе получены поступательно-вращательные движения двух взаимогравитирующих небесных тел с переменной массой и с переменными размерами в абсолютной, относительной и барицентрической системе координат и их дифференциальное уравнение движения. Моменты инерции второго порядка осесимметричных тел – переменные. Оси собственной системы координат для нестационарных осесимметричных тел совпадают с главными осями инерции и это положение остается неизменным во время эволюции. Массы тел изменяются изотропно в различных темпах. Ньютоновская сила взаимодействия характеризуется приближенным выражением силовой функции, учитывающей вторую гармонику.

**Ключевые слова:** переменная масса, осесимметричное тело, поступательно-вращательное движение, силовая функция

**1 Кіріспе**

Қазіргі бақылау астрономиясы нақты аспан денелерінің абсолютті қатты дене емес – олар бейстационар екендігін көрсетеді. Бұлар уақытқа байланысты массаларын, өлшемін, пішінін, құрылымын өзгертеді [1]-[5]. Классикалық аспан механикасы ғарыштық денелерді материалдық нүкте ретінде қарастырады. Бірақ, бұл болжау есептің табиғи қойылуын кейбір жағдайларда дұрыс бейнелемейді. Өзара Ньютон күшімен әсерлесетін массасы, өлшемі және пішіні айнымалы бейстационар денелердің ілгерілемелі – айналмалы қозғалысы көп жағдайда аспан денелерінің қозғалысын дұрыс айқындайды.

**2 Мәселенің физикалық қойылымы.** Бейстационар денелердің массалары  $m_i = m_i(t)$ , пішіндері айнымалы өстік симметриялы динамикалық құрылымды және айнымалы  $I_i = I_i(t)$  сызықты өлшеммен сипатталсын [1].

Келесі шарттар орындалсын делік:

1. Денелер бейстационар, екінші ретті инерция моменттері айнымалы

$$A_i(t) = B_i(t) \neq C_i(t), \quad i = 1, 2 \quad (2.1)$$

2.  $m_i(t), I_i(t), A_i(t), C_i(t)$  – белгілі уақыт функциялары;

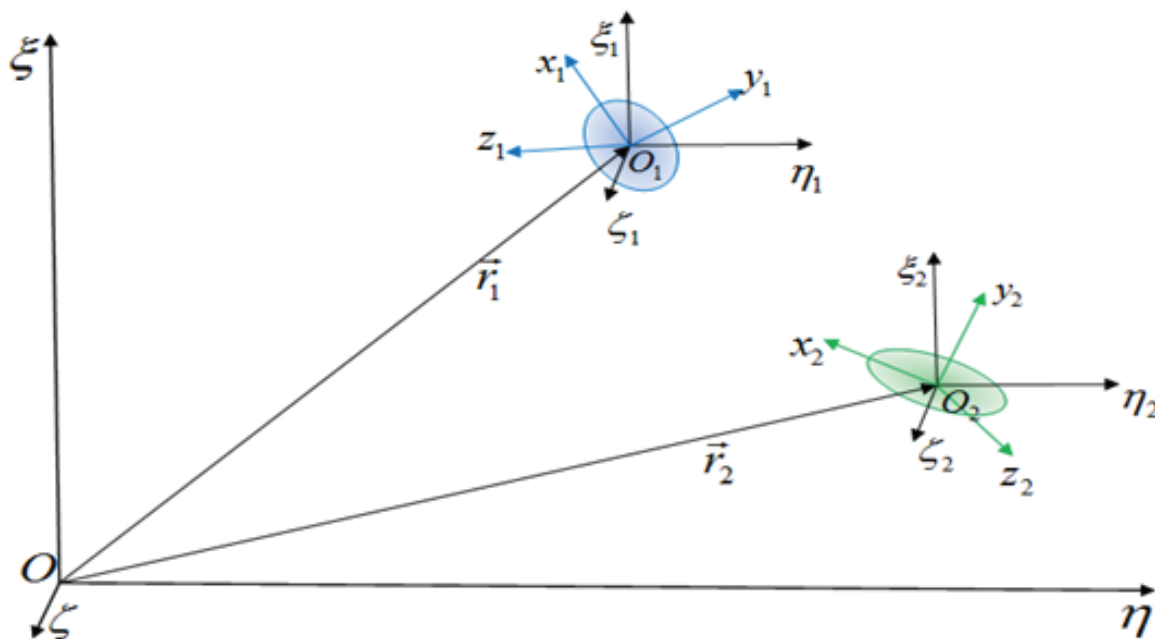
3. Өзіндік координата өстері бас инерция өстерімен сәйкес келеді және бұл жағдай өзгеріссіз қалады;

4. Денелердің массасы мен өлшемі әртүрлі қарқында изотропты түрде өзгереді, сондықтанда қосымша реактивті күш және қосымша айналдырушы момент туындамайды;

$$\frac{\dot{m}_1(t)}{m_1(t)} \neq \frac{\dot{m}_2(t)}{m_2(t)}, \quad \frac{\dot{I}_1(t)}{I_1(t)} \neq \frac{\dot{I}_2(t)}{I_2(t)}. \quad (2.2)$$

5. Күштік функцияның жуық өрнегімен шектелеміз.

**3 Абсолютті координаталар жүйесіндегі қозғалыстың дифференциалдық теңдеулері.** Егер  $\hat{I} \xi \eta \zeta$  абсолютті координаталар жүйесіндегі  $O_i$  денелерінің меншікті өстерінің бағыттары сәйкесінше осы денелердің бас инерция өстерімен сәйкес келсе, онда денелердің ілгерілемелі – айналмалы қозғалысының дифференциалдық теңдеулері келесі түрде жазылады [2]



1-сурет. Екі дене абсолютті координаттар жүйесінде

$$m_i(t)\ddot{\xi}_i = \frac{\partial U}{\partial \xi_i}, \quad m_i(t)\ddot{\eta}_i = \frac{\partial U}{\partial \eta_i}, \quad m_i(t)\ddot{\zeta}_i = \frac{\partial U}{\partial \zeta_i} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(A_i(t)p_i) - (A_i(t) - C_i(t))q_i r_i &= \frac{\sin \varphi_i}{\sin \theta_i} \left[ \frac{\partial U}{\partial \psi_i} - \cos \theta_i \frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \right] + \cos \varphi_i \frac{\partial U}{\partial \theta_i} \\ \frac{d}{dt}(A_i(t)q_i) - (C_i(t) - A_i(t))r_i p_i &= \frac{\cos \varphi_i}{\sin \theta_i} \left[ \frac{\partial U}{\partial \psi_i} - \cos \theta_i \frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \right] - \sin \varphi_i \frac{\partial U}{\partial \theta_i}, \\ \frac{d}{dt}(C_i(t)r_i) &= 0, \quad i=1,2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

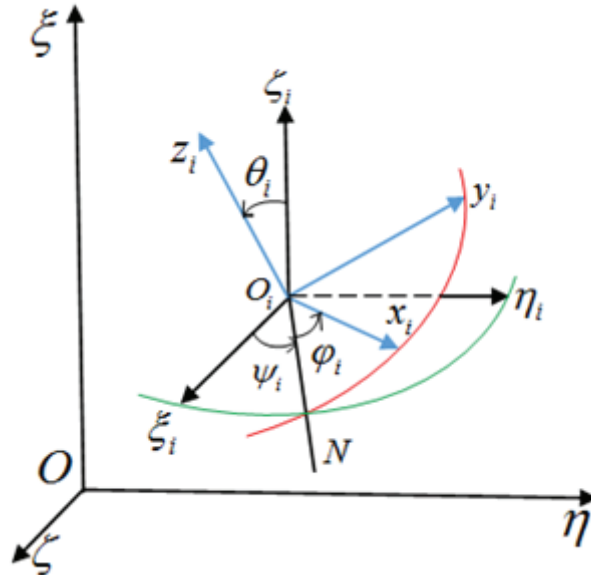
мұндағы  $m_p, A_p, B_p, C_i$  – денелердің массалары және бас инерция моменттері;  $\xi_i, \eta_i, \zeta_i$  –  $O\xi\eta\zeta$  абсолютті өстердегі  $O_i$  массалар центрінің декарттық координаталары;  $p_i, q_i, r_i$  –

денелердің айналмалы қозғалысының бұрыштық жылдамдығының меншікті координата жүйесінің өстеріне проекциялары;  $U$  – екі дененің тартылыс күшін анықтайтын күштік функция.

$$p_i = \dot{\psi}_i \sin \varphi_i \sin \theta_i + \dot{\theta}_i \cos \varphi_i, \quad q_i = \dot{\psi}_i \cos \varphi_i \sin \theta_i - \dot{\theta}_i \sin \varphi_i, \quad r_i = \dot{\psi}_i \cos \theta_i + \dot{\varphi}_i. \quad (3.3)$$

$\varphi_i, \psi_i, \theta_i$  – Эйлер бұрыштары; Алынған (3.1) – (3.3) теңдеулер өстік симметриялы бейстационар екі дененің ілгерілемелі – ай-

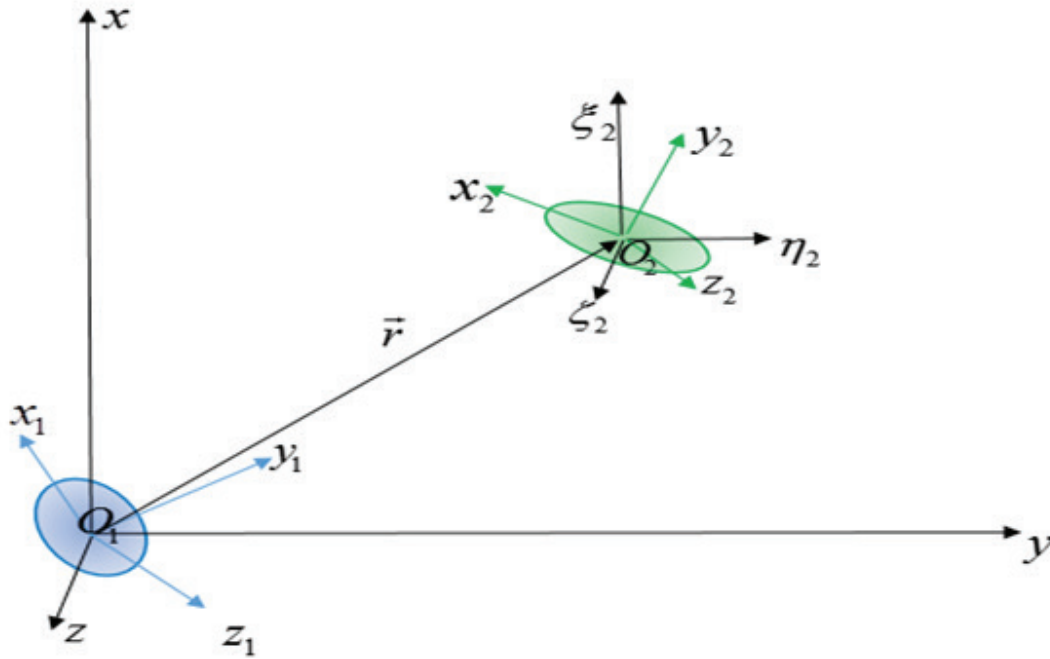
налмалы қозғалысын абсолют координаталар жүйесінде толық сипаттайды.



2-сурет. Эйлер бұрыштары

**4 Салыстырмалы координаталар жүйесіндегі қозғалыстың дифференциалдық теңдеулері.**  $O\xi\eta\zeta$  абсолютті координаталар жүйесінен  $O_1xuz$  салыстырмалы координаталар жүйесіне өтеміз, координаталар басын  $O_i$  нүктесінен аламыз. Жаңа

жүйенің координаталары ескі жүйенің координаталарына сәйкесінше параллель болсын. Абсолютті координаталар жүйесіндегі (3.1) – (3.3) қозғалыс теңдеулерін ескере отырып, екі өсті дененің ілгерілемелі – айналмалы қозғалыс теңдеулерін  $O_1xuz$  салыстырмалы координаталар жүйесінде аламыз [2].



3-сурет. Екі дене салыстырмалы координаттар жүйесінде

$$\mu(t)\ddot{x} = \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \mu(t)\ddot{y} = \frac{\partial U}{\partial y}, \quad \mu(t)\ddot{z} = \frac{\partial U}{\partial z}, \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(A_i(t)p_i) - (A_i(t) - C_i(t))q_i r_i &= \frac{\sin \varphi_i}{\sin \theta_i} \left[ \frac{\partial U}{\partial \psi_i} - \cos \theta_i \frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \right] + \cos \varphi_i \frac{\partial U}{\partial \theta_i} \\ \frac{d}{dt}(A_i(t)q_i) - (C_i(t) - A_i(t))r_i p_i &= \frac{\cos \varphi_i}{\sin \theta_i} \left[ \frac{\partial U}{\partial \psi_i} - \cos \theta_i \frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \right] - \sin \varphi_i \frac{\partial U}{\partial \theta_i}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\frac{d}{dt}(C_i(t)r_i) = 0, \quad i = 1, 2$$

мұндағы  $\mu(t) = m_1(t)m_2(t) / (m_1(t) + m_2(t))$  келтірілген масса,  $U$  – екі дененің тартылыс күшін анықтайтын күштік функция.

**5 Барикаентрлік координаталар жүйесіндегі өстік симметриялы бейстационар екі дененің ілгерілемелі – айналмалы қозғалысының дифференциалдық теңдеулері.**

Дененің ілгерілемелі қозғалыс теңдеуі барикаентрлік координаттар жүйесінде келесідей болады [3]

$$\ddot{\vec{r}}_1 = -f \frac{m_2^3(t)}{(m_1(t) + m_2(t))^2 r_1^3} \vec{r}_1 - 2 \frac{\dot{v}_2}{v_2} \dot{\vec{r}}_1 - \frac{\dot{v}_2}{v_2} \vec{r}_1 + \text{grad}_{\vec{r}_1} U_1, \quad (5.1)$$

$$v_2 = \frac{m_1(t) + m_2(t)}{m_2(t)} = v_2(t), \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(A_1(t)p_1) - (A_1(t) - C_1(t))q_1 r_1 &= \frac{\sin \varphi_1}{\sin \theta_1} \left[ \frac{\partial U_1}{\partial \psi_1} - \cos \theta_1 \frac{\partial U_1}{\partial \varphi_1} \right] + \cos \varphi_1 \frac{\partial U_1}{\partial \theta_1} \\ \frac{d}{dt}(A_1(t)q_1) - (C_1(t) - A_1(t))r_1 p_1 &= \frac{\cos \varphi_1}{\sin \theta_1} \left[ \frac{\partial U_1}{\partial \psi_1} - \cos \theta_1 \frac{\partial U_1}{\partial \varphi_1} \right] - \sin \varphi_1 \frac{\partial U_1}{\partial \theta_1}, \\ \frac{d}{dt}(C_1(t)r_1) &= \frac{\partial U_1}{\partial \varphi_1} = 0, \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$U_1 = f \frac{m_2^4(t)}{(m_1(t) + m_2(t))^4} \frac{(C_2(t) - A_2(t))(1 - 3\gamma_2^2)}{2r_1^3} + \frac{fm_2^5(t)}{m_1(t)(m_1(t) + m_2(t))^4} \frac{(C_1(t) - A_1(t))(1 - 3\gamma_1^2)}{2r_1^3}, \quad (5.4)$$

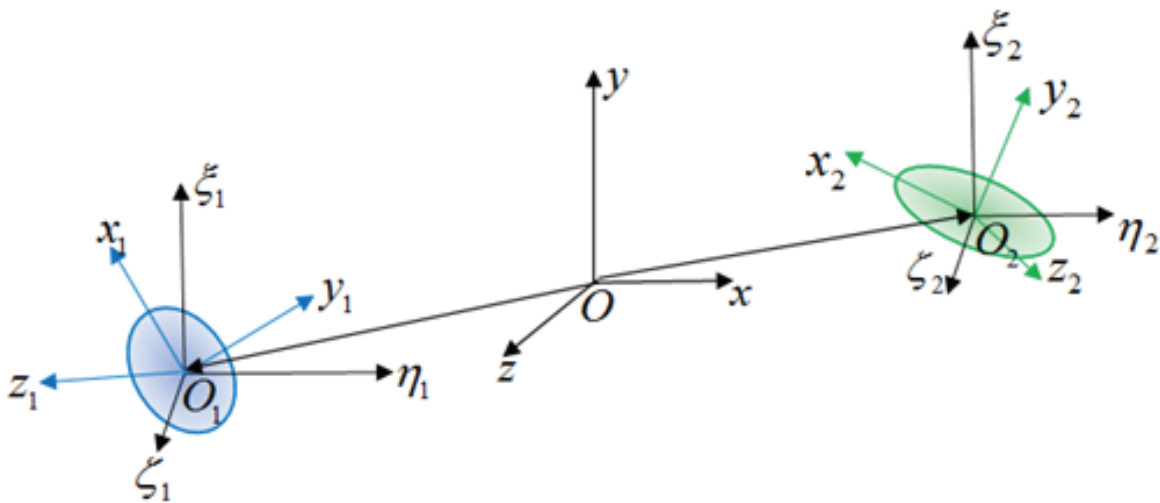
Екінші дененің ілгерілемелі қозғалыс теңдеуі барицентрлік координаттар жүйесінде келесідей болады

$$\ddot{\vec{r}}_2 = -f \frac{m_1^3(t)}{(m_1(t) + m_2(t))^2} \frac{\vec{r}_2}{r_2^3} - 2 \frac{\dot{v}_1}{v_1} \dot{\vec{r}}_2 - \frac{\ddot{v}_1}{v_1} \vec{r}_2 + \text{grad}_{\vec{r}_2} U_2, \quad (5.5)$$

$$v_1 = \frac{m_1(t) + m_2(t)}{m_1(t)} = v_1(t), \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(A_2(t)p_2) - (A_2(t) - C_2(t))q_2 r_2 &= \frac{\sin \varphi_2}{\sin \theta_2} \left[ \frac{\partial U_2}{\partial \psi_2} - \cos \theta_2 \frac{\partial U_2}{\partial \varphi_2} \right] + \cos \varphi_2 \frac{\partial U_2}{\partial \theta_2} \\ \frac{d}{dt}(A_2(t)q_2) - (C_2(t) - A_2(t))r_2 p_2 &= \frac{\cos \varphi_2}{\sin \theta_2} \left[ \frac{\partial U_2}{\partial \psi_2} - \cos \theta_2 \frac{\partial U_2}{\partial \varphi_2} \right] - \sin \varphi_2 \frac{\partial U_2}{\partial \theta_2}, \\ \frac{d}{dt}(C_2(t)r_2) &= \frac{\partial U_2}{\partial \varphi_2} = 0, \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$U_2 = f \frac{m_1^5(t)}{m_2(t)(m_1(t) + m_2(t))^4} \frac{(C_2(t) - A_2(t))(1 - 3\gamma_2^2)}{2r_2^3} + \frac{fm_1^4(t)}{(m_1(t) + m_2(t))^4} \frac{(C_1(t) - A_1(t))(1 - 3\gamma_1^2)}{2r_2^3}. \quad (5.8)$$



4-сурет. Екі дене барицентрлік координаттар жүйесінде

**6 Ньютон заңымен** өзара әсерлесуші өстік симметриялы бейстационар екі дененің күштік функциясы. Өзара әсерлесуші  $T_1$  және  $T_2$  денелердің күштік функциясын  $U$  арқылы белгілейміз. Жалпы жағдайда күштік функцияның өрнегі мына түрде беріледі

$$U = f \int_{(T_1)} \int_{(T_2)} \frac{dm_1 dm_2}{\Delta}, \quad (6.1)$$

$$U \approx f \frac{m_1(t)m_2(t)}{r} + fm_1 \frac{2A_2(t) + C_2(t) - 3J_2}{2r^3} + fm_2(t) \frac{2A_1(t) + C_1(t) - 3J_1}{2r^3}, \quad (6.2)$$

$$J_i = A_i (\alpha_i^2 + \beta_i^2) + C_i \gamma_i^2, \quad i = 1, 2 \quad (6.3)$$

$J_i$  – екі өстік симметриялы дененің инерция центрін қосатын  $\overline{O_1 O_2}$  түзуіне қатысты  $T_i$  денелердің инерция моменттері

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  –  $\overline{O_1 O_2}$  түзуін  $T_i$  денелердің бас инерция өстеріне байланысты бағыттауыш косинустары

$$\begin{aligned} \alpha_i &= c_{11}^{(i)} \frac{x}{r} + c_{21}^{(i)} \frac{y}{r} + c_{31}^{(i)} \frac{z}{r} \\ \beta_i &= c_{12}^{(i)} \frac{x}{r} + c_{22}^{(i)} \frac{y}{r} + c_{32}^{(i)} \frac{z}{r}, \\ \gamma_i &= c_{13}^{(i)} \frac{x}{r} + c_{23}^{(i)} \frac{y}{r} + c_{33}^{(i)} \frac{z}{r} \end{aligned} \quad (6.4)$$

$x/r, y/r, z/r$  –  $O_i \xi_i \eta_i \zeta_i$  координаттар жүйесінің айналмайтын өстеріне қатысты  $\vec{r}$  векторының бағыттауыш косинустары

мұндағы  $U$  – жалпы жағдайда, он екі айнымалыға  $(\xi_1, \eta_1, \zeta_1, \varphi_1, \psi_1, \theta_1, \xi_2, \eta_2, \zeta_2, \varphi_2, \psi_2, \theta_2)$  тәуелді күштік функция,  $\Delta$  –  $dm_1$  және  $dm_2$  элементар массаларының өзара арақашықтығы. Осы жұмыста күштік функцияның мына жуық өрнегімен шектелеміз

$c_{k9}^{(i)}$  – қозғалмалы және қозғалмайтын координаттар жүйелерінің арасындағы бұрыштардың косинустары. Ары қарай бізге қажетті шамалар төмендегіше

$$\begin{aligned} c_{13}^i &= \sin \psi_i \sin \theta_i = \cos(\vec{Oz}_i \wedge \vec{O\xi}_i), \\ c_{23}^i &= -\cos \psi_i \sin \theta_i = \cos(\vec{Oz}_i \wedge \vec{O\eta}_i), \\ c_{33}^i &= \cos \theta_i = \cos(\vec{Oz}_i \wedge \vec{O\zeta}_i). \end{aligned} \quad (6.5)$$

Сонымен, өстік симметриялы бейстационар екі дененің қозғалысын күштік функцияның жуық өрнегін есепке ала отырып зерттейміз.

### Қорытынды

Абсолютті, салыстырмалы және барицентрлік координат жүйелерінде өстік симмет-

риялы бейстационар екі дененің ілгерілемелі – айналмалы қозғалысының дифференциалдық теңдеулері алынды. Ньютон заңымен өзара әсерлесуші өстік симметриялы бейстационар екі дененің күштік функциясының жуық аналитикалық өрнектері көрсетілді. Алынған нәтижелер ғарыштағы бейстационар екі дененің ілгерілемелі – айналмалы қозғалысын

зерттеуге мүмкіндік береді. Алынған дифференциалдық теңдеулердің негізінде ары қарай ұйытқу теориясын [1,5] пайдаланып, Белецкий – Черноусько айнымалыларында қос жүйенің динамикалық эволюциясын зерттеу жоспарлануда.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Минглибаев М.Дж. Динамика гравитирующих тел с переменными массами и размерами. – Германия: Изд. «LAP LAMBERT Academic Publishing », 2012. – 229 с.
2. Минглибаев М.Дж., Байсбаева О.Б. Вековые возмущения в задаче о поступательно-вращательном движении двух нестационарных тел: шар – осесимметричное тело // Вестник КазНУ, серия математика, механика, информатика 01(76), 2013. – С. 71-81.
3. Minglibayev M.Zh., Ahmetrassulova A.A. Secular perturbations in the problem of translational – rotational motion two axisymmetric non – stationary gravitating bodies with variable oblate // ССМЕСН7. 7<sup>th</sup> International Symposium on Classical and Celestial Mechanics. Selected Papers – Poland, Siedlce: Wydawnictwo Collegium Mazovia, October 23-28, 2012. - pp. 116-127.
4. Дубошин Г.Н. Небесная механика: Основные задачи и методы. – Москва: Наука, 1975. – 799 с.
5. Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Лещенко Д.Д. Эволюция движений твердого тела относительно центра масс. – Москва, Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2015. – 308 с.

УДК 691.555, 661.68

ГТАМР 67.09.33

## МИНЕРАЛДЫ БЕЛСЕНДІ ШИКІЗАТ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ҚҰРҒАҚ ҚҰРЫЛЫС ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Н.Б. РАХМЕТ<sup>1</sup>, Е.С. ОРЫНБЕКОВ<sup>2</sup>, Д.Т. САРТАЕВ<sup>3</sup>

*Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясы*

*Аңдатпа:* Бұл мақалада құрғақ құрылыс қоспаларын алу мүмкіндігі және көп компонентті жүйелердің құрғақ құрылыс қоспаларының физика-механикалық қасиеттеріне әсері ұсынылған.

*Зерттеу саласындағы тиісті жарияланымдарға ұқсас құрғақ құрылыс қоспалары құрамының рецептурасы анықталды.*

*Құрамына, үйінді тығыздығына және қоспалардың әртүрлі дозаларына байланысты құрғақ қоспалар негізінде ерітінділердің реологиялық және технологиялық қасиеттерін өзгерту ерекшеліктері белгіленген.*

*Түйінді сөздер:* құрғақ қоспалар, диатомит, ақ күйе, микрокремнезем, цемент сылақ қоспалары, физика-механикалық қасиеттері

## THE INFLUENCE OF MINERAL-ACTIVE RAW MATERIALS ON THE PROPERTIES OF DRY CONSTRUCTION MIXTURES

*Abstract:* This article presents the possibility of obtaining dry mixes and the influence of multicomponent systems on the physical and mechanical properties of dry mixes.

*The formulation of the content of dry building mixtures, similar to the relevant publications in the field of research.*

*Features of change of rheological and technological properties of solutions on the basis of dry mixes depending on the content, density of a dump and various doses of impurity are established.*

*Keywords:* dry mixtures, diatomaceous earth, white fathom, silica fume, cement plasters, physico-mechanical properties

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНО-АКТИВНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

*Аннотация:* В данной статье предложена возможность получения сухих строительных смесей и влияние многокомпонентных систем на физико-механические свойства сухих строительных смесей.

*Определены рецептура состава сухих строительных смесей по аналогам соответствующих публикаций в области исследования.*

*Установлены особенности изменения реологических и технологических свойств растворов на основе сухих смесей в зависимости от состава, насыпной плотности и различных дозировок добавок.*

*Ключевые слова:* сухие смеси, диатомит, белая сажа, микрокремнезем, цементные штукатурные смеси, физико-механические свойства

Құрғақ құрылыс қоспаларын өндіру мәселелері бойынша ғылыми жарияланымдарға жүргізілген талдау шолуы бойынша ҚҚҚ-ның негізгі компоненттері: тұтқыр, толтырғыштар, ұсақ түйіршікті минералды толықтырғыштар, химиялық қоспалар мен пигменттер (қажет болған жағдайда) [1-10].

Құрғақ құрылыс қоспалары үшін толтырғыш ретінде белгілі бір гранулометриялық құрамның табиғи минералды немесе жасанды алынған түйіршікті материалдарды қолданады. Олар іс жүзінде барлық құрғақ құрылыс қоспаларының міндетті компоненттері болып табылады. Құрылыс ерітіндісі қоспаларының барлық көлемінің 70-80%-ын құрайды, байланыстырғыш ерітінділердің беріктігінің байқаусыз түсуін қысқартуға, сондай-ақ цемент тастарының шөгінді деформациясын азайтуға мүмкіндік жасайды.

Ерітіндідегі толтырғыштар мен ұсақ түйіршікті минералды толықтырғыштар цемент тасында оның шөгу салдарынан пайда болатын механикалық кернеудің әлсіреуіне ықпал етеді.

Құрғақ құрылыс қоспаларына арналған қоспа: құрғақ және граскопиялық емес болуы; компоненттерді құрғақ араластыру кезінде қоспаға жақсы бөлінуі және оларға химиялық тұрақты болуы; тез еритін немесе тез ыдырайтындығы (құрғақ қоспа сумен жабылған кезде қоспалар 20°C кезінде еріту (диспергирлеу) уақыты 2-10 минуттан аспауы тиіс); уыттылық, өрт, жарылыс және химиялық қауіптілік талаптарына жауап береді.

Осыған байланысты жергілікті шикізат негізінде жаңа рецептуралар үшін құрғақ қоспаны толтырушы және белсенді минералды қоспа болып табылатын диатомит пен ақ күйені пайдалану өзекті міндет болуы тиіс.

Толтырғыш және белсенді минералды қоспалар ретінде құрғақ құрылыс қоспаларын өндіруде микрокремнеземді пайдалану – қатайған ерітінділердің өткізгіштігін төмендетуге; су бөлуді баяулатуға және ерітінділердің су ұстағыш қасиеттерін жетілдіруге; когезиялық беріктігін арттыруға; тік және көлбеу беттер бойынша жұмыстарды орындау үшін ерітінділерге тиксотроптық қасиет-

терді беруге; қоспалардың құрылымдық әсері есебінен қатқан қоспалардың аязға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Сынақтарды жүргізу үшін келесі мемлекетаралық стандарттарға Нормативтік сілтемелер пайдаланылды: МС 8736-93 құрылыс жұмыстарына арналған құм. Техникалық шарттар (N 1, 2, 3 өзгерістерімен); МС 23732-2011. Бетондар мен құрылыс ерітінділеріне арналған су. Техникалық шарттар; МС 30744-2001. Цемент. Полифракциялық құмды пайдалана отырып сынау әдістері; МС 31108-2003. Жалпы құрылыс цементтері. Техникалық шарттар; МСТ 31189-2015 құрғақ құрылыс қоспалары. Жіктеу (түзетумен); МС 31357-2007. Тұтқыр цементті құрғақ құрылыс құйма. Жалпы техникалық шарттар; МС 31356-2013 цементті байланыстырғыштағы құрғақ құрылыс қоспалары; МС 33083-2014 сылақ жұмыстарына арналған цементті байланыстырғыштағы құрғақ құрылыс қоспалары. Техникалық шарттар.

Бұл бағытта ғалымдардың зерттеу мүдделері (Ресей). В. И. Логаниннің еңбектері модифицирленген диатомитті және Пустовгар А. П. қолдану арқылы жылу оқшаулағыш құрғақ құрылыс қоспалары құрғақ құрылыс қоспаларын өндіруде белсендірілген диатомитті іске асыру тәжірибесі [1, 2, 3]. Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу материалдары Утесов кен орнының табиғи диатомиттері, ақ күйе (аморфты микрокремнезем) – Шымкент қаласындағы «Стекло К» ЖШС кәсіпорнының жоғары сапалы кремний өндірісінің қалдығы.

#### *Шикізат материалдары*

Құм-технологиялық құжаттама бойынша стандарт талаптарына сәйкес іске асырылған, бөлшектер өлшемі 0,1 – 2мм; цемент-ПЦ 400 – Қ 20; BERMOCOLL – винилацетат және этилен сополимерлері негізінде редиспергирлейтін байланыстырушы; ELOTEX-винилацетат және винилверсатат сополимерлері негізінде редиспергирленетін байланыстырушы; С - 3 – құрғақ пластификатор құрғақ құрылыс қоспасына қосылатын полидисперсті қоңыр ұнтақ; Technocel 500 1-армирлеу талшықтары, целлюлозды; эфир-крахмал – сылақ, шпат-

левкалар, желімдер құрамында технологиялық қоспа ретінде, ерітінділік қоспалардың құралға жабысқақтығын төмендетіп, консистенцияны және ерітіндінің қалың қабаттарын жағуға мүмкіндік беретін сырғуға төзімділікті жақсарта отырып пайдаланылады.

*Астық құрамы:*

ҚҚҚ астық (гранулометриялық) құрамын анықтау үшін тесіктері бар елеуіш арқылы еленеді: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16; 0,14; 0,05 електен кейін әрбір елеуіштегі қалдықтарды өлшеп, массадан пайызбен әрбір қалдықты есептеп шығарды.

Содан кейін әрбір жеке елеуіште толық қалдық есептелді. Әрбір елеуіштегі толық қалдық деп жеке қалдықтардың сомасын түсінеді, мұнда барлық елеуіштерде саңылаулардың үлкен мөлшері пайызбен плюс осы елеуіштегі қалдық пайызбен.

*Құрғақ қоспаның үйінді тығыздығы:*

Үйінді тығыздығын өлшеу ыдысында ҚҚҚ кептірілген сынамасының салмағын өлшеу арқылы табамыз.

*Қоспаның қозғалысы эталондық конустың көмегімен айқындалады:*

Ерітінділік қоспаның қозғалысы оған эталондық конустың батырылу тереңдігі сантиметрмен өлшенетін болады. Сынақтарды жүргізу үшін болат өзектің қозғалуын өлшеуге арналған аспап қолданылады.

*Су ұстағыш қабілеті:*

Әдістің мәні оны сумен жапқаннан кейін ерітінді қоспасымен ұсталатын судың мөлшерін анықтау және суды сіңіретін кеуекке бөлу.

*Капиллярлы сору кезінде су сіңуі:*

Капиллярлы сору кезінде W су сіңіруді капиллярлы немесе адсорбциялық күштер есебінен атмосфералық қысымда тұрақты массаға дейін кептірілген үлгімен сіңірілген су көлемі бойынша анықтайды.

Тәжірибелік бөлім

Сынақтарды өткізу үшін диатомит және ақ күйенің екі жұмыс құрамы (аморфты микрокремнезем) негізінде қоспалар дайындалды. Құрғақ құрылыс қоспаларының рецептурасы 1,2-кестелерде берілген:

*Қоспаның қозғалысы эталондық конустың көмегімен анықталады.*

**1 кесте – Құрғақ құрылыс қоспаларының құрамы**

Рецептура	Құрамы %									
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
Цемент	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14
Құм	71,36	69,36	67,36	65,36	63,36	71,36	69,36	67,36	65,36	63,36
Ақ күйік	1	3	5	7	9					
С 3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Technocel 500 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Диатомит						1	3	5	7	9
Гранулометриялық құрамы, мм	1,25	1,25	0,63	0,63	0,63	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

**2 кесте – Құрғақ құрылыс қоспаларының құрамы**

Рецептура	Құрамы %									
	№11	№12	№13	№14	№15	№16	№17	№18	№19	№20
Цемент	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14
Құм	71,76	69,76	67,76	65,76	63,76	71,76	69,76	67,76	65,76	63,76
Ақ күйік	1	3	5	7	9					
BERMOCOLL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ELOTEX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Диатомит						1	3	5	7	9
Гранулометриялық құрамы, мм	1,25	1,25	1,25	0,63	0,63	1,25	0,63	1,25	1,25	1,25

№ 1-20 құрамдары бетонның бетінде жақсы жарықтықты көрсетті. Сылақтың қалыңдығы 0,5-2 см, 1 сурет.



а) ақ күйені қолданумен (аморфты микрокремнеземмен)



ә) диатомитті қолданумен (аморфты микрокремнеземмен)

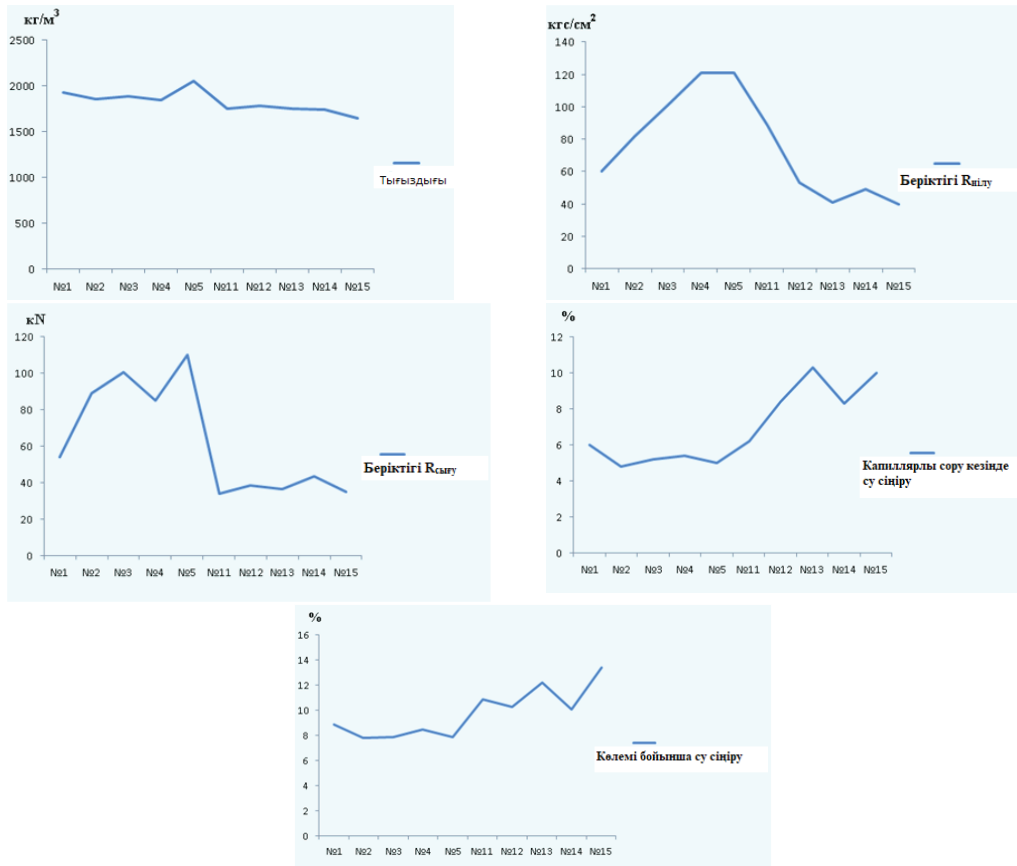
1-сурет. Тас ҚҚҚ талаптарына сәйкес келетін үлгілер

**3 кесте – Ақ күйені қолданумен құрғақ құрылыс қоспаларының физика-механикалық қасиеттері**

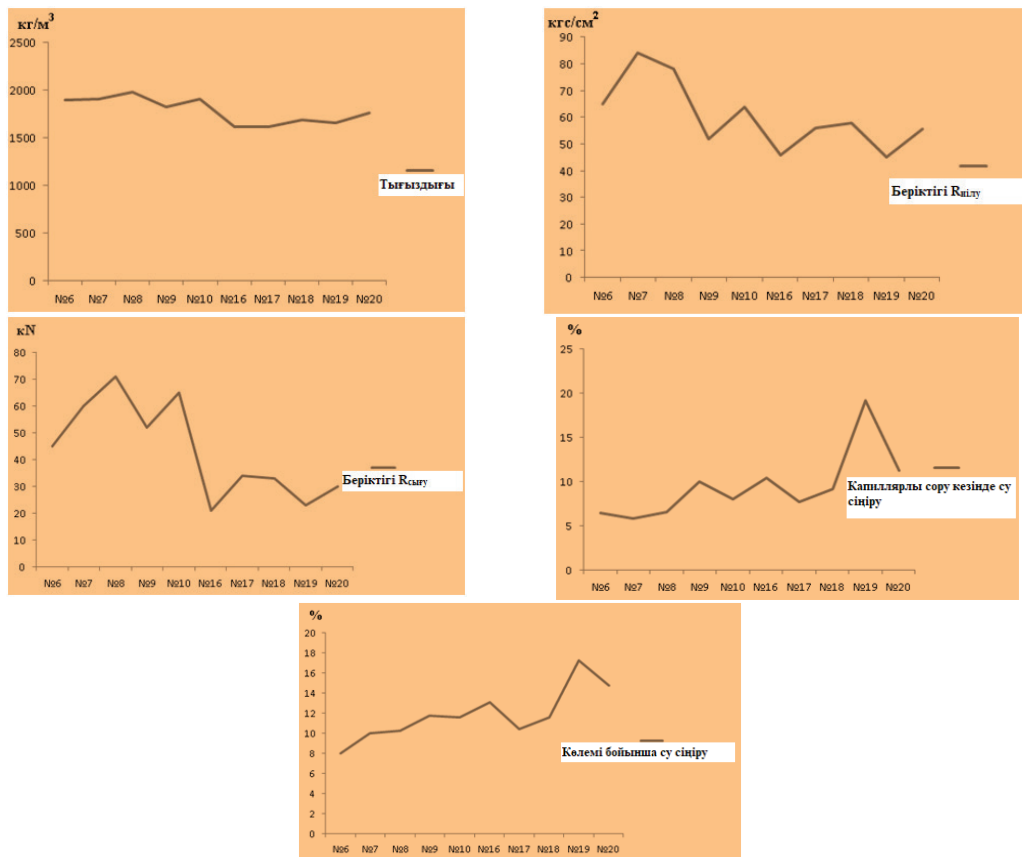
Рецептура	Тығыздығы, кг/м <sup>3</sup>	Беріктігі R <sub>нiлу</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	Беріктігі R <sub>сығу</sub> , кN	Капиллярлы сору кезінде су сіңіру, %	Көлемі бойынша су сіңіру, %	Су ұстағыш қабілеті, %
№1	1926	60	54	6	8,9	90-93
№2	1859	82	89,2	4,8	7,8	
№3	1892	101	100,8	5,2	7,9	
№4	1846	121	84,9	5,4	8,5	
№5	2060	121	110,3	5	7,9	
№11	1755	89	34,3	6,2	10,9	97-97,5
№12	1780	53,1	38,8	8,4	10,3	
№13	1753	40,9	36,8	10,3	12,2	
№14	1745	49	43,5	8,3	10,1	
№15	1645	40	35,2	10	13,4	

**4 кесте – Диатомитті қолданумен құрғақ құрылыс қоспаларының физика-механикалық қасиеті**

Рецептура	Тығыздығы, кг/м <sup>3</sup>	Беріктігі R <sub>нiлу</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	Беріктігі R <sub>сығу</sub> , кN	Капиллярлы сору кезінде су сіңіру, %	Көлемі бойынша су сіңіру, %	Су ұстағыш қабілеті, %
№6	1895	65	45,9	6,5	8	92,5-96
№7	1909	84	60	5,8	10	
№8	1978	78	71,3	6,6	10,3	
№9	1830	52	52	10	11,8	
№10	1905	64	65,5	8	11,6	
№16	1614	46	21,4	10,4	13,1	96-97,5
№17	1618	56	34,4	7,7	10,4	
№18	1691	58	33,1	9,2	11,6	
№19	1662	45	23,4	19,2	17,3	
№20	1765	55,5	30	11,3	14,8	



2-сурет. Ақ күйені қолданумен құрғақ құрылыс қоспаларының физика-механикалық қасиеттері



3-сурет. Диатомитті қолданумен құрғақ құрылыс қоспаларының физика-механикалық қасиеттері

Сынау режимі: биіктігі 180 мм, жоғарғы негіз диаметрі 250 мм және төменгі негіз диаметрі 150 мм қиыстырылған конус түріндегі болат ыдыс оның жиегінен 1 см төмен ерітінді қоспасымен толтырылып, 25 рет қадалып, үстел туралы 5-6 рет жеңіл дөңеспен нығыздалды.

Эталондық конус ерітінділік қоспамен жанасқанға дейін түсірілді, стопорлық бұранданы бекітіп, шкала бойынша бірінші санау-

ды алып тастады, содан кейін стопорлық бұранданы босатып, конусқа ерітіндіге еркін батыруға мүмкіндік береді.

Батыру аяқталғаннан кейін шкала бойынша екінші санауды алып тастады, 5-кесте.

Суреттер мен графиктерді талдай отырып, 1,2,3, көп компонентті жүйеде оңтайлы рецептура №4,5,14 рецептурасының ақ күйесі үшін өзекті деп айтуға болады. Ал диатомит үшін – №7,8,9,10 рецептурасы.

**5 кесте – Қоспаның қозғалысы**

№ құрамы	Жылжымалығы/см	Жылжымалы бойынша маркасы
№11-5	4-тен 7,5 дейін	Пк2
№6-10	6-дан 7 дейін	Пк2
№11-15	11-ден 11,5 дейін	Пк3
№16-20	10-нан 11 дейін	Пк3

**Тұжырымдар**

1. Құрғақ қоспа компоненттерінің құрамы мен физикалық-механикалық қасиеттеріне және төсеніш түріне байланысты минералды белсенді қоспа негізінде құрғақ құрылыс қоспаларының реологиялық және технологиялық қасиеттерінің өзгеру заңдылықтары және өзара әрекеттесу заңдылықтары, жұқа дисперсті минералды қоспалармен сылақ жұмыстары үшін құрғақ құрылыс қоспаларының құрамы мен құрылым түзілу ерекшеліктері белгіленген.

2. Техникалық талдау нәтижесі бойынша цемент-құмды-диатомитті құрғақ құрылыс қоспаларының гранулометрлік құрамы бойынша алдын ала аналогтар алынды. Минералды белсенді қоспаны енгізу цемент қа-

мырының тұрақтануына – цемент дәндерінің арасындағы кеңістікті толтыруға, олардың арасындағы байланыстар санының артуына әкеп соқтыратыны байқалды. Бұл ретте бөлшектер арасындағы ілініс күші өседі, осыған орай ерітінділік қоспаның қабаттану мүмкіндігін едәуір азайтады. Бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесу күштерінің қарқындылығын арттыру, қаптаманың тығыздығын арттыру цемент қамырында суды ұстап тұру қабілетінің өсуіне әкеледі.

3. “Кварц - цемент - диатомит – қоспа - су” және “кварц - цемент – ақ күйе - қоспа - су” жүйесіндегі технологиялық сипаттамалардың құрамында кремнезі бар шикізаттың генетикалық түрінен тәуелділігі анықталды.

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР**

1. Логанина В.И. Теплоизоляционные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 10.
2. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций //Известия высших учебных заведений. – Строительство. – 2011. – № 3. – С. 20-23.
3. Никифоров Е.А., Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Особенности структурообразования известковых композитов с применением модифицированного диатомита //Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 4-8.

4. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Исследования закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита//Строительные материалы. – 2011. №12. – С. 62-65.
5. Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Емельянов А.И., Кисилев Е.В., Черкасов Д.В. Активная минеральная добавка на основе химически модифицированного диатомита//Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – №12. – С. 50-55.
6. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Структурообразование известковых композитов на основе модифицированного диатомита //Приволжский научный журнал. – 2012. – № 2. – С. 68-72.
7. Карпова О.В., Логанина В.И., Симонов Е.Е. Эффективность применения известково-диатомитовой декоративной штукатурки для отделки ограждающих конструкций//Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 5. – С. 44-47.
8. Логанина В.И. Влияние поверхностной активности наполнителя на структурообразование отделочных покрытий на основе сухих смесей / В. И. Логанина, И. С. Великанова // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 5. – С. 58-60.
9. Макаревой М.С. Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками// Автореферат. – 2005.
10. Симонов Е.Е. Теплоизоляционные декоративные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита// Автореферат. – 2013.

УДК 004.89  
МРНТИ 28.23.00

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ SMART-СИСТЕМА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Г.А. САМИГУЛИНА<sup>1</sup>, Ж.А. МАСИМКАНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Казахстанско-Британский технический университет»

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

**Аннотация:** Статья посвящена разработке многофункциональной мультиагентной Smart-системы прогнозирования и управления сложными объектами на основе модифицированных алгоритмов роевого интеллекта и искусственных иммунных систем. Разработан модифицированный алгоритм CPSOIW-CS на основе кооперативного алгоритма роя частиц с весом инерции (CPSOIW) и алгоритма клональной селекции (CS). Предварительная обработка данных и выделение информативных дескрипторов выполняются на основе CPSOIW алгоритма. Применение CPSOIW алгоритма позволяет более детально и быстро исследовать многомерное пространство и избежать преждевременной сходимости. Распознавание образов и прогноз осуществляются с использованием CS алгоритма. В работе показана актуальность и перспективность внедрения разработанной системы в реальное производство. Разработана структурная схема многофункциональной мультиагентной Smart-системы. Созданы следующие агенты: агент базы данных, менеджер агент, агент помощник, онтологический агент, кооперативный агент роя частиц с весом инерции, агент распознавания образов и агент оценки прогнозирования, а также описаны их функции. Создано программное обеспечение MCPSO (Multi-agent Cooperative Particle Swarm Optimization) на языке программирования Python, предназначенное для обработки многомерных данных, выделения информативных дескрипторов и построения оптимального набора параметров, характеризующих объект, которое является модулем многофункциональной мультиагентной Smart-системы.

**Ключевые слова:** мультиагентная Smart-система, прогнозирование, управление сложными объектами, модифицированные алгоритмы роевого интеллекта, искусственные иммунные системы

## MULTIFUNCTIONAL MULTI-AGENT SMART-SYSTEM BASED ON MODIFIED SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS

**Abstract:** The article is devoted to the development of multifunctional multi-agent Smart-system for prediction and control of complex objects based on modified swarm intelligence algorithms and artificial immune systems. Modified CPSOIW-CS algorithm has been developed based on cooperative particle swarm optimization with inertia weight (CPSOIW) and clonal selection (CS) algorithm. Preliminary data processing and selection of informative descriptors have been performed based on CPSOIW algorithm. The application of CPSOIW algorithm allows more detailed and fast exploration of multidimensional space and avoid premature convergence. Pattern recognition and prediction have been carried out using CS algorithm. In paper relevance and prospects of the developed system in real production have been shown. The block schema of multifunctional multi-agent Smart-system has been developed. The following agents have been created: database agent, manager agent, assistant agent, ontological agent, cooperative particle swarm agent with inertia weight, pattern recognition agent and prediction evaluation agent, also their functions have been described. The MCPSO (Multi-agent Cooperative Particle Swarm Optimization) software has been developed in Python programming language to process multidimensional data, select informative descriptors and create an optimal set of parameters characterizing an object and it is a module of multifunctional multi-agent Smart system.

**Keywords:** *multi-agent Smart-system, prediction, control of complex objects, modified swarm intelligence algorithms, artificial immune systems*

## ҮЙІР ИНТЕЛЛЕКТИСІ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН АЛГОРИТМДЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ КӨПФУНКЦИОНАЛДЫ МУЛЬТИАГЕНТТІК SMART-ЖҮЙЕ

**Аңдатпа:** *Мақала үйір интеллекті мен жасанды иммундық жүйелердің модификацияланған алгоритмдері негізінде күрделі объектілерді болжау және басқару үшін көпфункционалды мультиагенттік Smart-жүйесін құрастыруға арналған. Модификацияланған CPSOIW-CS алгоритм инерция салмағы бар кооперативтік үйір интеллектісі (CPSOIW) мен клоналды іріктеу (CS) алгоритмдерінің негізінде құрылды. Деректерді алдын ала өңдеу және ақпараттық дескрипторларды таңдау CPSOIW алгоритмі негізінде орындалды. CPSOIW алгоритмін қолдану көпөлішемді кеңістікті барынша кең және жылдам зерттеуге, мерзімінен бұрын жақындасуды болдырмауға мүмкіндік береді. Үлгіні тану және болжау CS алгоритмі арқылы жүзеге асырылады. Мақалада құрылған жүйені нақты өндіріске енгізудің өзектілігі мен келешегі көрсетілді. Көпфункционалды мультиагенттік Smart-жүйенің құрылымдық сызбасы берілді. Келесідей агенттер құрылды: деректер базасы агенті, менеджер агент, көмекші агент, онтологиялық агент, инерция салмағы бар кооперативтік үйір агенті, үлгілерді тану агенті және болжамды бағалау агенті, сондай-ақ олардың функциялары сипатталды. Көп өлішемді деректерді өңдеуге, ақпараттық дескрипторларды іріктеуге және объектіні сипаттайтын оңтайлы параметрлер жиынтығын құруға арналған MCP SO (Multi-agent Cooperative Particle Swarm Optimization) бағдарламалық қаптамасы Python программалау тілінде құрылды және ол көпфункционалды мультиагенттік Smart-жүйенің модулі болып табылады.*

**Түйінді сөздер:** *мультиагенттілік Smart-жүйе, болжау, күрделі объектілерді басқару, үйір интеллектісінің модификацияланған алгоритмдері, жасанды иммундық жүйелер*

### Введение

Для решения приоритетных задач эффективной цифровой трансформации промышленности Казахстана актуальна разработка и целенаправленное внедрение инновационных Smart-технологий для управления и оптимизации производства. Широкое использование современных интеллектуальных подходов позволяет осуществлять мониторинг и диагностику оборудования, прогнозирование и управление производственными процессами в режиме реального времени, повышает эффективность и производительность труда, а также снижает себестоимость продукции [1]. Существует большое количество публикаций, посвящённых данной проблеме. Например, в работе [2] интеллектуальные методы успешно применяются для прогнозирования состояний сложных промышленных объектов и своевременного оповещения об аварийных ситуациях. Интересные приложения разработаны для нефтегазовой отрасли. В исследованиях [3] затрагиваются вопросы обеспечения непрерывного сбора данных, мониторинга акти-

вов и состояния окружающей среды в режиме реального времени с использованием тысячи датчиков, установленных в подземных скважинах и наземных сооружениях, данных метеослужбы и так далее. Обработка, анализ полученных данных, а также составление карты изменений в месторождениях позволяют увеличить добычу нефти и газа, оптимизировать затраты, снизить воздействие экологических рисков и повысить безопасность процесса нефтедобычи.

Среди интеллектуальных подходов в последнее время наблюдается большой интерес к применению алгоритмов роевого интеллекта. Активно развиваются алгоритмы муравьиных [4] и пчелиных колоний [5], метод роя частиц [6], алгоритм перемещения бактерий, серых волков и другие. Данные подходы успешно применяются при решении оптимизационных задач в нефтегазовой отрасли. В работе [7] используется алгоритм муравьиной колонии (ACO, Ant colony optimization) для определения оптимального количества

газа в скважинах для трёх месторождений. В статье [8] предлагается пчелиный алгоритм для размещения объектов. Алгоритм основан на децентрализованном поведении интеллектуальных агентов, которые представляют собой самоорганизующуюся систему. В исследовании [9] представляется алгоритм роя частиц (PSO, Particle swarm optimization) для определения оптимальной комбинации параметров бурения.

Основными недостатками классического алгоритма PSO являются преждевременная сходимость и локальный оптимум. Для исключения этих недостатков и улучшения эффективности работы с многомерными данными широко используются модифицированные алгоритмы, такие как кооперативный PSO алгоритм (CPSO, Cooperative Particle Swarm Optimization), PSO алгоритм с комплексным обучением (CLPSO, Comprehensive Learning PSO) и PSO алгоритм с весом инерции (IWPSO, Inertia weight PSO). В статье [10] рассматривается модифицированный алгоритм MSCPSO, созданный на основе Multi-Swarm Self-Adaptive and CPSO алгоритма. В данном модифицированном алгоритме для решения проблемы попадания в локальный оптимум и улучшения решений используются несколько стратегий.

Современные тенденции показывают широкое применение мультиагентных систем (МАС) в различных приложениях для нефтегазовой отрасли. Мультиагентные системы позволяют разработать распределённые системы управления на основе автономных и взаимодействующих агентов, которые демонстрируют надёжность, гибкость, адаптивность, модульность и реконфигурируемость [11]. В работе [12] применяется интегрированная модель на основе PSO алгоритма и мультиагентного подхода для оптимального распределения ресурсов. В статье [13] рассматривается многослойная мультиагентная система (Multi-layered Multi-Agent System) для распределения производственных ресурсов. В исследовании [14] описывается PSO алгоритм на основе мультиагентного подхода (MAPSO, Multi-Agent Particle Swarm

Optimization) для распределения энергетической нагрузки энергосистемы.

Существует много исследований по применению подхода искусственных иммунных систем (ИИС) для задач прогнозирования. В работе [15] предлагается иммунный клональный PSO алгоритм (Immune clonal PSO), в котором выбор клонального оператора значительно увеличивает способность PSO алгоритма к глобальному поиску и решает задачу быстрой сходимости. В статье [16] описывается гибридный алгоритм клональной селекции с комбинаторной рекомбинацией и модифицированными операторами гипермутации для глобальной оптимизации. При проверке эффективности, точности, стабильности и надёжности алгоритма применяется 16 часто используемых тестовых функций.

Вышеизложенный литературный обзор подтверждает актуальность применения модифицированных алгоритмов роевого интеллекта и ИИС для многофункциональной мультиагентной Smart-системы прогнозирования и управления сложными объектами.

### 1. Постановка задачи

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо разработать многофункциональную мультиагентную Smart-систему прогнозирования и управления сложными объектами на основе модифицированных алгоритмов роевого интеллекта и искусственных иммунных систем.

### 2. Методы решения и алгоритмы

При создании Smart-системы прогнозирования и управления сложными объектами разработан модифицированный алгоритм на основе совместного применения кооперативного алгоритма роя частиц с весом инерции (CPSO IW, Cooperative PSO with inertia weight) и алгоритма искусственных иммунных систем клональной селекции (CS, Clonal Selection).

В классическом кооперативном алгоритме роя частиц (CPSO, Cooperative particle swarm optimization) общая популяция агентов делится на один основной рой и несколько

подчинённых роев [17]. Агенты основного роя ориентированы на глобальный поиск, а агенты подчинённого роя предназначены для интенсивного локального поиска. Кооперации агентов, обмен информацией и перегруппировка популяции агентов позволяют быстро и точно сходиться к глобальному оптимальному решению. В CPSO алгоритме при итерации вес инерции не меняется, поэтому предлагается совместное использование IWPSO алгоритма. Это позволяет более эффективно и быстро исследовать многомерное пространство, предотвратить преждевременную сходимость и выделять оптимальный набор данных.

На рисунке 1 представлена кооперация агентов, где каждый подчинённый рой представляет собой IWPSO алгоритм.

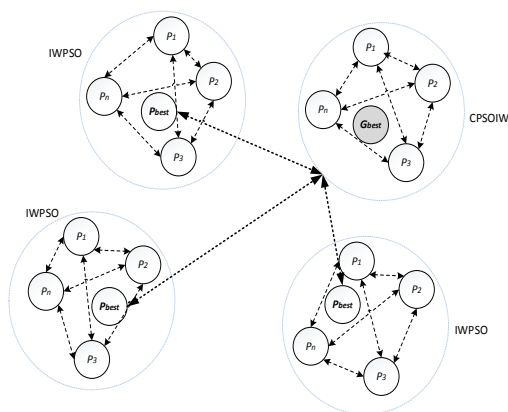


Рис.1 – Кооперация агентов CPSO IW алгоритма

В предложенном модифицированном CPSO IW-CS алгоритме для решения задачи оптимизации данных и выделения информативных параметров используется CPSO IW алгоритм, а прогноз осуществляется с использованием CS алгоритма.

*Алгоритм CPSO IW-CS:*

Шаг 1. Решается задача построения оптимального набора дескрипторов на основе CPSO IW алгоритма.

Шаг 1.1. Задается количество агентов для основного и подчинённого роя. Случайно генерируются начальные положения  $x_i$  и скорости  $v_i$  агентов, где  $i = 1, 2, \dots, n$ . Вводятся следующие коэффициенты: вес инерции  $iter_{max}$ , количество итераций, коэффициенты ускорения  $c_1, c_2$ .

Шаг 1.2. Каждый подчинённый рой характеризуется вектором  $p_g^s$ , который показывает лучшее положение агентов в рое. Осуществляется кооперация агентов при глобальном поиске с помощью этих векторов.

Шаг 1.3. Осуществляется выбор и вычисление фитнес-функции [18].

Шаг 1.4. Сравниваются текущее значение фитнес-функции  $f(x_i^s(t + 1))$  и лучшее значение фитнес-функции  $f(p_g^s)$ .

Шаг 1.5. Лучшее положение агента сохраняется как вектор подчинённого роя  $p_g^s$ .

Шаг 1.6. Определяются начальный ( $w_{min}$ ) и конечный вес инерции ( $w$ ) частицы. Расчет веса инерции ( $w_{max}$ ) частицы осуществляется по формуле:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} k,$$

где  $iter_{max}$  – максимальное количество итераций,  $k$  – текущая итерация.

Шаг 1.7. Рассчитывается фактор миграции  $\phi$  по формуле:

$$\phi = \begin{cases} 0 & Gbest^s < Gbest^M, \\ 0.5 & Gbest^s = Gbest^M, \\ 1 & Gbest^s > Gbest^M. \end{cases}$$

Шаг 1.8. Векторы подчинённых роев передаются в основной рой.

Шаг 1.9. Сравниваются векторы подчинённых роев с вектором основного роя.

Шаг 1.10. Вектор основного роя сохраняется как лучший вектор всего роя.

Шаг 1.11. Обновляются положения  $x_i^M(t + 1)$  и скорости  $v_i^M(t + 1)$  агентов основного роя.

Шаг 1.12. Проверяется критерий останова  $k < iter_{max}$ .

Шаг 1.13. Сохраняется лучшее значение  $p_g^M$  всего роя.

Шаг 1.14. Определяется оптимальный набор параметров системы и осуществляется редукция малоинформативных дескрипторов.

Шаг 2. Решается задача распознавания образов на основе алгоритма клональной селекции [19].

Шаг 2.1. Прежде всего произвольно инициализируется начальная популяция антител.

Шаг 2.2. Вычисляется значение фитнес-функции и определяется аффинность каждого антитела.

Шаг 2.3. Выбирается подмножество антител с самой высокой аффинностью.

Шаг 2.4. Осуществляется клонирование отобранных антител и создается популяция клонов.

Шаг 2.5. Выполняется гипермутация антител из популяции клонов и выбирается подмножество антител с самой высокой аффинностью из популяции измененных клонов.

Шаг 2.6. Заменяется подмножество анти-

тел с низкой аффинностью с новыми антителами.

Шаг 3. Выполняется оценка прогноза.

Шаг 4. Осуществляется принятие решения.

### 3. Результаты моделирования

На рисунке 2 представлена структурная схема многофункциональной мультиагентной Smart-системы и описаны функции агентов. Созданы следующие агенты: менеджер агент, агент базы данных, агент помощник, онтологический агент, кооперативный агент роя частиц, агент распознавания ИИС, агент оценки прогнозирования.



Рис. 2 – Структурная схема многофункциональной мультиагентной Smart-системы

Для реализации мультиагентной Smart-системы прогнозирования и управления сложными объектами разработано программное обеспечение (ПО) «MCPSO (Multi-agent Cooperative Particle Swarm Optimization)», предназначенное для построения оптимального набора параметров, характеризующих объект на языке программирования Python.

На рисунке 3 показан интерфейс ПО «MCPSO», который состоит из: кнопки подключения базы данных, поля для ввода параметров, кнопка «Run» для запуска/приостановки работы системы, панели для отображения базы данных в виде таблицы и панели вывода результатов в виде графика и текста.

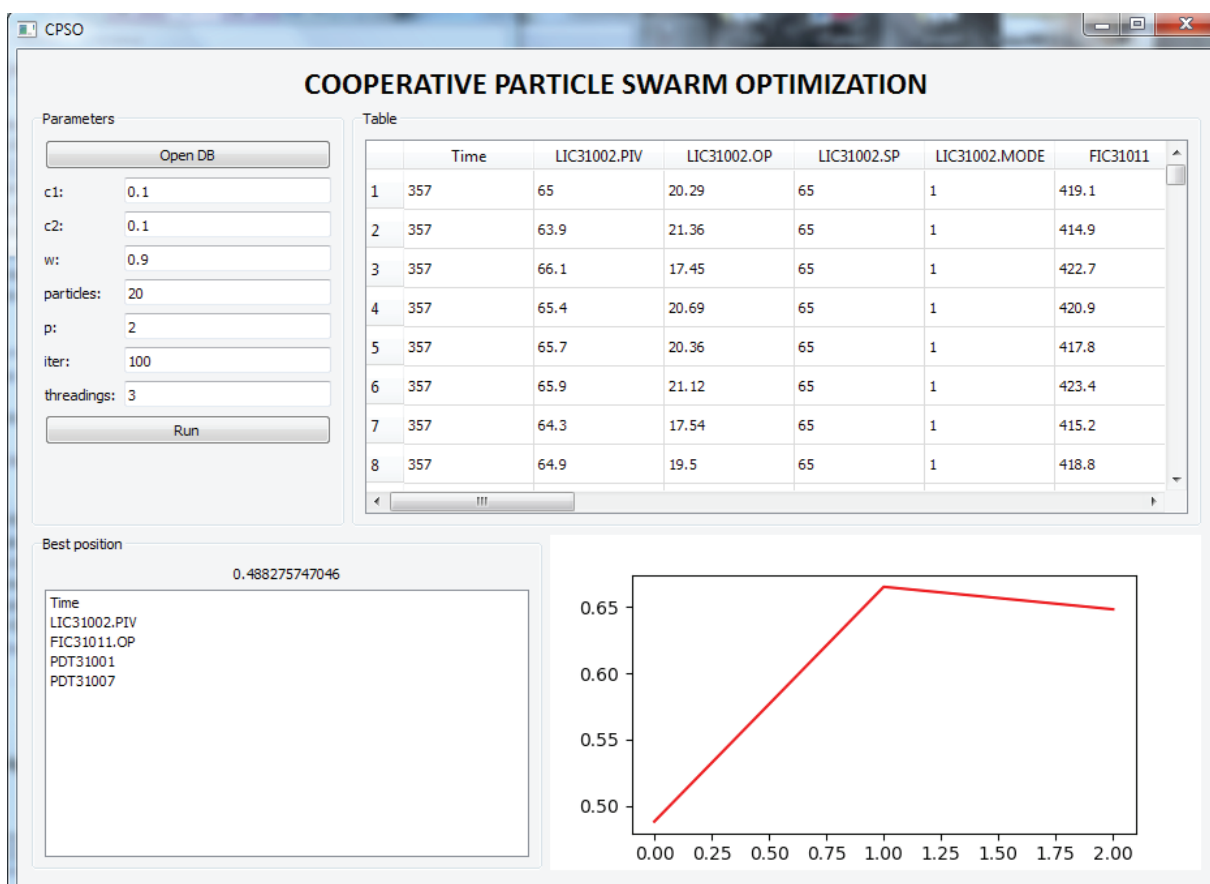


Рис. 3 – Интерфейс ПО «MCPSO»

### Заключение

Разработанная многофункциональная мультиагентная Smart-система на основе модифицированного кооперативного алгоритма роя частиц с весом инерции позволяет осуществлять предварительную обработку многомерных данных и формировать оптимальный набор дескрипторов для дальнейшего прогнозирования состояния сложных

объектов нефтегазовой отрасли на основе подхода искусственных иммунных систем с использованием алгоритма клональной селекции. Применение данной Smart-системы позволяет существенно сократить временные и финансовые затраты при прогнозировании и управлении сложными объектами промышленной автоматизации.

Работа выполнена по гранту КН МОН РК по теме: «Разработка когнитивной Smart-технологии для интеллектуальных систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта» (2018-2020 гг.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Andreadisa G., Klazogloub P., K. Niotakib, K. D. Bouzakisa Classification and Review of Multi-Agents Systems in the Manufacturing Section // *Procedia Engineering*. – 2014. – Vol. 69. – P. 282-290.
2. Sayda A.F. Multi-agent Systems for Industrial Applications: Design, Development, and Challenges // In book: *Multi-Agent Systems - Modeling, Control, Programming, Simulations and Applications*. – 2011. – DOI: 10.5772/15696.
3. Quoniam L., Baaziz A. How to use Big Data technologies to optimize operations in Upstream Petroleum Industry // [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00944668/file/Paper\\_IJI\\_Baaziz\\_Quoniam](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00944668/file/Paper_IJI_Baaziz_Quoniam)
4. Yaralidarani M., Shahverdi H. An improved Ant Colony Optimization (ACO) technique for estimation of flow functions from core-flood experiments // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 33. – P. 624-633.
5. Nozohour-leilabady B., Fazelabdolabadi B. On the application of artificial bee colony (ABC) algorithm for optimization of well placements in fractured reservoirs; efficiency comparison with the particle swarm optimization (PSO) methodology // *Petroleum*. – 2016. – Vol. 2, Issue 1. – P. 79-89.
6. Huang S., Tian N., Wang Y., Ji Z. Particle swarm optimization using multi-information characteristics of all personal-best information // *Springer Plus*. – 2016. – Vol. 5 (1632). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3244-8>.
7. Ghaedi M., Ghotbi C., Aminshahidy B. The optimization of gas allocation to a group of wells in a gas lift using an efficient Ant Colony Algorithm (ACO) // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. – 2014. – Vol. 36, Issue 11. – C. 1234-1248.
8. Абрамов А.С. Методы искусственного интеллекта для решения задачи оптимального размещения кустовых площадок и распределения скважин между ними. – 2016. – №4 (736). – С. 25-29.
9. Self R., Atashnezhad A., Hareland G. Reducing. Drilling Cost by finding Optimal Operational Parameters using Particle Swarm Algorithm // *Proc. of Society of Petroleum Engineers Source SPE Deepwater Drilling and Completions Conference*. URL: <https://www.researchgate.net/publication/304998993>.
10. Zhang J., Ding X. A Multi-Swarm Self-Adaptive and Cooperative Particle Swarm Optimization // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2011. – Vol. 24, Issue 6. – P. 958-967.
11. Leitao P. Multi-agent Systems in Industry: Current Trends & Future Challenges // *Beyond Artificial Intelligence. Topics in Intelligent Engineering and Informatics*. – Springer, 2013. – Vol 4. – P. 197-201.
12. Wang L., Wang Z., Yang R. Intelligent Multiagent Control System for Energy and Comfort Management in Smart and Sustainable Buildings // *IEEE transactions on Smart grid*. – 2012. – Vol. 3, No. 2. – P. 605-617.
13. Lindegaard Mikkelsen L., Næumann J.R., Demazeau Y., Jørgensen B.N. Demonstrating Multi-layered MAS in Control of Offshore Oil and Gas Production // *Advances on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems. PAAMS 2013. Lecture Notes in Computer Science*. – 2013. – Vol. 7879. – P. 300-303.
14. Wu C., Li H., Wu L., Wu Z. Agent Particle Swarm Optimization for Power System Economic Load Dispatch // *Journal of Computer and Communications*. – 2015. – Vol. 3. – P. 83-89.
15. Li R., Zhan W., Hao Z. Artificial Immune Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Clonal Selection // *Boletín Técnico*. – 2017. – Vol. 55, Issue 1. – P. 158-164.

16. Zhang W., Lin J., Jing H., Zhang Q. A Novel Hybrid Clonal Selection Algorithm with Combinatorial Recombination and Modified Hypermutation Operators for Global Optimization // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2016. - <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6204728>.
17. Yang J., Zhu H., Wang Y. An Orthogonal Multi-Swarm Cooperative PSO Algorithm with a Particle Trajectory Knowledge Base // Symmetry. – 2017. – Vol. 9(1), No. 15. – DOI: 10.3390/sym9010015.
18. Hall M.A. Correlation-based Feature Selection for Machine Learning, Thesis of Doctoral dissertation. – The University of Waikato, 1999.
19. Ulutas B., Kulturel-Konak S. A review of clonal selection algorithm and its applications // Artificial Intelligence Review. – 2011. – Vol. 36 (2). – P. 117-138.

УДК 631.4  
МРНТИ 27.35.33

## MATHEMATICAL MODELS IN SOIL PROCESSES

ZH.M. TASHENOVA<sup>1</sup>, ZH.B. KADIROVA<sup>1</sup>, E.N. NURLYBAEVA<sup>2</sup>,  
SH.A. AMANZHOLOVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*L.N. Gumilyov Eurasian National University*

<sup>2</sup>*Kazakh National Academy of Arts named after T. Zhurgenov*

<sup>3</sup>*Kazakh National Conservatory named after Kurmangazy*

**Abstract:** *The article describes the ways of constructing mathematical models for processes in the soil. Models designed to increase their fertility, varying with soil moisture, for the transportation of salt are shown. In order to more accurately describe the nature of the system's response to environmental change, it is necessary to take into account in the model the largest possible number of environmental factors influencing it. Mathematical models developed to study the mechanism and patterns of transfer of solutes in the soil, use in agriculture, prevent soil salinity and prevent desalting of saline lands are given.*

**Keywords:** *mathematical model, soil processes, humidity, fertility, empirical model*

## ТОПЫРАҚ ПРОЦЕСІНДЕГІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕР

**Аңдатпа:** *Мақалада топырақтардағы процестерге математикалық модельдерді құру жолдары қарастырылған. Топырақтың құнарлылығын арттыру үшін әзірленген математикалық модельдер келтірілген. Математикалық модельдеу математикалық қатынастарға негізделген табиғи процестерді (теңдеулер, теңсіздіктер және т.б.) немесе осы жүйенің кейбір ерекшеліктерін айқындайтын бағдарламаларды сипаттайды. Математикалық модельді (теңдеуді) жасау үшін, зерттелетін процестің физикалық негіздерін білу қажет. Топырақты зерттеуде математикалық модельдеу кең ауқымды міндеттерді шешу үшін қолданылады: топырақ режимдерін оңтайландыру, ластауыштардың әртүрлі түрлерін болжау, табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану және т.б.*

**Түйінді сөздер:** *математикалық модель, топырақтағы процестер, ылғалдылық, құнарлылық*

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

**Аннотация:** *В статье рассматривается математическое моделирование, описывающее природные процессы на основе математических соотношений (уравнений, неравенств и т.д.) или программы, описывающие некоторые характеристики этой системы. Для создания математической модели (уравнения) необходимо знать физическую основу исследуемого процесса. Только, если используются всеобщие физические законы и физические описания явлений, модель применима для широкого класса явлений и природных ситуаций. Математическое моделирование используется в почвоведении для решения широкого спектра задач: оптимизация почвенных режимов, прогноз различного рода загрязнителей, рациональное использование природных ресурсов и др.*

**Ключевые слова:** *математическая модель, почвенные процессы, эмпирическая модель, влажность*

### Introduction

In the article there are considered the ways of construction of mathematical models to processes in the soil. The models developed to in-

crease their fertility which changes depending on humidity of the soil, for salt carrying are introduced.

In order to more accurately describe the nature of the system's response to environmental change, it is necessary to take into account in the model the largest possible number of environmental factors influencing it. There are provided the mathematical models developed for learning of the mechanism and principle of carriage of the dissolved substances in the soil, using them in agriculture, prevention of the soil saltiness and exclusion of desalting of salty grounds.

In recent decades one of the main approaches to the quantitative description and prediction of soil processes has become the use of mathematical modeling in combination with more traditional research methods [7]. Mathematical modeling describes natural processes on the basis of mathematical relationships (equations, inequalities, etc.) or programs that describe some of the characteristics of this system. To construct a mathematical model (equation) it is needed to know the physical basis of the process under study. Only if general physical laws and physical descriptions of phenomena are used, the model is applicable to a wide class of phenomena and natural situations [11]. Mathematical modeling is used in soil science to solve a wide range of tasks: optimization of soil modes, forecasting various kinds of pollutants, rational use of natural resources, etc. [7]. The duration and complexity of obtaining the mode data of temperature and humidity dictate the need for mathematical modeling of the humidity and temperature mode. With the help of mathematical models it is possible to determine quickly the results of changes in external factors affecting the soil, such as rainfall, irrigation, air temperature, etc. All mathematical models used in soil science can be divided into empirical (statistical, regression) and semi-empirical (deductive, process, mechanistic) [7].

The empirical models are based on the formula that establishes the relationship between the quantity sought for and the indicators acting on the factor. The advantage of these models lies in the simplicity of the formulas with which it is easy to make calculations. The main disadvantage of these models is a small number of input indicators, reflecting the effect of influ-

encing factors. Therefore, the accuracy of such models is low. Empirical models do not reveal the mechanism of the phenomenon being studied and, therefore, they usually cannot be used in conditions different from those in which they were obtained.

The semi-empirical models are based on the formula expressing the fundamental laws of nature. The formulas are complemented by empirical indicators of individual soil microprocesses, and in such a way a "synthetic model" is drawn up describing the phenomenon under study as a whole. Using these models, it is possible to calculate the detailed distribution of the indicator of the process under study in time and in depth. The weak point of the semi-empirical models is the absence of a guarantee that the model includes all the soil processes that are essential for the occurrence of the phenomenon under consideration. Through the prism of this classification of models of soil processes let us consider modern approaches to al modeling of the soil humidity and temperature modes [11].

The advantage of semi-empirical and theoretical models is the immutability of the original formula expressing the law of conservation. Another advantage is the ability to calculate the detailed distribution of the index of the process under study in time and in depth [11].

Fariz Mikaiylov in the article about modeling some soil processes developed a mathematical model of salt transfer in the soil. Among the mathematical models of soil-forming processes a large place is occupied by models of salt transfer in the soil.

Knowledge of the mechanism and patterns of transferring solutes makes it possible to develop effective measures to prevent soil salinity and desalinate saline lands for use in agriculture. This is due to the enormous theoretical and practical importance of the problem of soil salinity. In particular, mathematical models of salt transfer in soil can serve as the basis for solving the most important tasks of soil reclamation: determining the rate of washing saline soils depending on the initial salt content, their composition, soil properties and hydro-geological conditions; identifying the optimal level of groundwater, precluding

soil salinity; calculating the maximum allowable salinity of irrigation water [5].

Based on direct and reverse solutions of the salt transfer model in the soil:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta C + pb_1 + b_2) = \theta D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \theta v \frac{\partial C}{\partial x} - \theta \mu C, \quad (1)$$

$$b_1 = kC \quad \frac{\partial b_2}{\partial t} = -\gamma(C_H + C)$$

$$N_v = \left( \frac{\theta \eta L}{h_1^2 + \eta^2} \right) \left\{ \ln \left( \frac{S_0 - S_1}{S_t - S_1} \right) + \ln \left[ \frac{\sin(2h_1) \sin(2ah_1)}{2a(h_1^2 + \eta^2 + \eta)} \right] \right\}, \left( \eta = \frac{L}{4\lambda}, a = \frac{R}{L} \right) \quad (2)$$

where  $S_0$  and  $S_t$  – mean value of starting and ending concentration of readily soluble in the washable soil of the location  $[0, R]$ ;  $S_1$  is mineralization of washing water;  $\eta = L/4\lambda$  is the Pecle’s parameter;  $l$  is the dispersion parameter;  $L$  is the soil water depth;  $q$  is the soil volume humidity (porosity);  $h_1$  is the root of the transcendent equation  $\eta \text{ctg} h_1 = h_1$ .

The model presented in the paper requires further theoretical and experimental development and testing for various soil conditions.

(1) he developed a medium-integral method for determining hydro-chemical parameters (a mixing step and the coefficient of dissolution rate of salts of the solid phase) for the average salinity of water-saturated soils of a given thickness before and after washing according to the results of experiment in laboratory and field conditions. In addition, the formula for calculating the leaching rates for average salinity of the soil column before and after flushing was derived:

In the work by Bedanokova S.Yu. there are proposed mathematical models of the water mode in soils containing fractal colloidal structures and algorithms for their study. Based on the modification of M. Aller’s scheme known in soil physics, leading to the diffusion equation that gives an interpretation of the presence of flows against the potential of humidity, and by introducing the concept of the fractal rate of changing humidity, the basic equation of moisture movement is obtained [2]:

$$\partial_{0t}^a w(x, \tau) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(w) \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} + k_\mu \partial_{0t}^a \frac{\partial w(x, \tau)}{\partial x} \right], \quad 0 < a \leq 1, \quad (3)$$

where  $w(x, t)$  is humidity (in fractions of unit) at the point  $x$  of the layer  $0 \leq x \leq r$  at the moment of time  $t$  from the initial  $t = 0$  to the calculated  $t = T$ ;  $\partial_{0t}^a$  is regulated operator of Riman-Liuville of

the  $a \in [0, 1]$  order;  $D(w)$  is the coefficient of diffusivity;  $k_\mu$  is the generalized Aller’s coefficient; and the accompanying local and non-local edge conditions are given by the formulas:

$$\partial_{0t}^a \int_0^r w(x, t) dx = \delta^{(a)}(t), \quad 0 < a \leq 1:$$

$$w_x(r, t) = \psi_{r(t)};$$

$$w_x(0, t) - w_x(r, t) = f_1(t);$$

$$w_x(0, t) = f_0(t).$$
(4)

where  $w_x(x, t) = \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} w_x(x, t) = \frac{\partial w(x, t)}{\partial x}$ .

Here and hereinafter the regulated operator of Riman-Liuville  $\partial^\alpha \partial_t$  or the operator of the fractional operator of M. Caputo for differentiation of the  $\alpha$  order on the time variable  $t$ .

$$\delta'(t) = D_f \partial_{0x}^\alpha u(\xi, t) - au_x, \quad 1 < \alpha < 2 \tag{5}$$

with the boundary condition

$$D_f u_x(0, t) = \varphi(t), \quad 0 \leq t \leq T$$

is basic.

The result of this is the following formula:

$$u(x, t) = \frac{\bar{\tau} E_{1/\beta}[\lambda x^\beta; 2+\beta]}{E_{1/\beta}[\lambda r^\beta; 3+\beta]} \left(\frac{x}{r}\right)^{\beta+1} \exp\left\{\frac{D_f t}{r^{\beta+1} E_{1/\beta}[\lambda r^\beta; 3+\beta]}\right\}, \tag{6}$$

determining salt distribution in the soil layer of thickness  $r$ .

S.G. Safarov, A. A. Hasanaliyev investigated the soil moisture regime and its expected future changes in the territory of Azerbaijan. The objects of the study are agricultural fields under winter crops that are located in different soil and climatic zones. The research method is a mathematical model developed by us. It has an applied focus, the possibility of expanding the design of the model, the efficiency of the algorithms used and reliability of the programs.

In this model the block of growth and development of crops is represented by the system of ordinary differential equations describing the dynamics of individual organs and the productivity of plants.

The block of the process of energy and mass transfer of vegetation is represented by the system of equations describing the heat balance of vegetation and soil surface, as well as the water balance of agrocenosis [9].

The block of the process of energy and mass transfer in the soil is represented by the equations of thermal conductivity (8) and moisture conductivity (9) of the soil. They are non-stationary. Their solution is found numerically. A step in time is 3 hours (8).

$$\frac{\partial(C_s T_s)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial z} \right) - d^T, \tag{8}$$

Let us study the non-stationary mathematical model of salt transfer for which the equation

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial(\psi+z)}{\partial z} \right) + d, \tag{9}$$

where  $T_s$  is the temperature of the soil at the depth being considered;  $C_s$  is the soil heat capacity;  $\lambda_s$  is the coefficient of the soil volume heat capacity;  $d^T$  is the source-stock member taking into account the effect of soil humidity on its temperature;  $W$  is humidity reserves of the soil layer;  $K$  is the coefficient of soil humidity;  $\Psi$  is the potential of soil humidity, cm;  $d$  is the source-stock term,  $d = -g - \varepsilon + R$ ;  $g$  is humidity consumption for transpiration from level  $z$ ;  $\varepsilon$  is the evaporation rate from the evaporating layer of the soil;  $R$  is the daily precipitation.

Mathematical models of soil water mode that are based on the equation of soil moisture dynamics, are widespread. They make it possible to predict changes in soil moisture taking into account the effect of natural and anthropogenic factors, and to solve the problem of selecting the optimal control of this soil mode.

Comparing the simulation results with the observation data suggests that in the vast majority of cases simulation errors do not exceed the measurement errors.

### Conclusions

Modeling of complex dynamic systems never was fully completed. Qualitative assessment of the soil system indicators, the process analysis

makes it possible to define criteria of soil fertility. At different modeling stages difficulties can arise, therefore it is necessary to develop a model

allowing expanding the model design. Development of model is the iterative process providing its constant updating and development.

### REFERENCES

1. Arkhangel'skaya T. A., Khokhlova O. S., Myakshina T. N. Mathematical modeling of the water regime of two agrochernozems with different levels of carbonate occurrence // Computer research and modeling 2016 T. 8 № 2. 401–410 b.
2. Bedanokova S.Yu. Mathematical modeling of salt regime of soils with fractal structure // Vestn. Himsel'f. state tech. un-that. Ser. : Phys.-mat. science. - 2007. - № 2 (15). - 102–109 b. - ISSN 1991–8615
3. Verigin N.N., Azizov K.Z., Mikayylov F.D. On the influence of boundary conditions in modeling the transfer of salts in soils during washing // Soil Science. - 1986. - № 6. 67-73 b.
4. Globus A.M. Soil and hydrophysical support of agroecological mathematical models. - L. : Hydrometeoizdat, 1987. - 428 b.
5. Mikayylov F.D. Modeling of some soil processes // Agroecology: Bulletin of the Altai State Agrarian University No. 7 (117), 2014. 59-64 b.
6. Mikayylov F. D., Shein E.V. Theoretical foundations of experimental methods for determining the thermal diffusivity of soils // Soil science. - 2010. - № 5. - 597-605 b.
7. Pachep'sky Ya.A. Mathematical models of processes in reclaimed soils. - M. : Publishing House of Moscow State University, 1992. - 85 b.
8. Safarov S.G. Applied dynamic modeling of water-thermal regime of the system "soil-plant-atmosphere". - Baku; Elm, 1999. - 230 b.
9. Safarov S.G., Hasanaliyev A.A. Study of the soil moisture regime and their expected changes in the future on the territory of Azerbaijan with the help of a mathematical model // Agroecology: Altai State Agrarian University Bulletin No. 5 (115), 2014. 80-85 b.
10. Tsibul'sky V. R., Solovyov I. G., Govorkov D. A. Basic approaches to modeling soil stability (review) // Bulletin of Tyumen State University. Ecology and nature management. 2017. Vol. 3. No. 4. 6-23 b.
11. Shein E.V. Soil physics course. M. : Publishing House of Moscow. University, 2005. - 432 b.
12. Shein E.V., Ryzhova I.M. mathematical modeling in soil science // Publishing House Moscow, 2016. - 377 b.

УДК 004.896  
МРНТИ 50.43.15

## TRAFFIC DEMAND ESTIMATION BASED ON OFFLINE TRAINED ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

G. TOLEBI, D. KURMANKHOJAYEV

*Kazakh-British technical university*

**Abstract:** The current paper focuses on traffic demand estimation problem. Artificial Neural Network (ANN) proposed as a prediction model. The given problem formulated as a supervised learning classification task. The dataset for model training and validation consists of synthetic data that was generated by using simulator. The results of experiments show training accuracy = 82.2%. The evaluation of the test set gives 80.03% accuracy. Finally, well-trained estimator of traffic flow is obtained.

**Keywords:** Traffic Control Systems, traffic demand, ANN, Intelligent Transportation Systems, SUMO

## ОФФЛАЙН ҮЙРЕТІЛГЕН ЖАСАНДЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ КӨЛІК АҒЫНЫН БОЛЖАУ

**Аңдатпа:** Берілген мақалада көлік қозғалысының ағынын анықтау мәселесі қарастырылған. Жасанды нейрондық желі болжаушы модель ретінде ұсынылады. Аталмыш мәселе бақыланатын оқыту, классификация проблемасы түрінде талқыланған. Модельді үйретуге және тексеруге арналған жиын симулятор арқылы жасалған синтетикалық деректерден тұрады. Эксперименттердің нәтижелері оқытудың дәлдігін 82,2% көрсетеді. Сынақ жиынтығын бағалау 80,03%-ды құрайды. Нәтижесінде, трафик ағынын бағалау үшін дайындалған модель ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** трафикті басқару жүйесі, интеллектуалдық көлік жүйесі, SUMO, трафикті модельдеу

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТОКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ОФФЛАЙН ОБУЧЕННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

**Аннотация:** Данная статья посвящена проблеме определения трафика. Искусственная нейронная сеть (ANN) предложена в качестве модели прогнозирования. Данная задача сформулирована как задача классификации, обучения с учителем. Набор данных для обучения и проверки модели состоит из синтетических данных, которые были сгенерированы с использованием симулятора. Результаты экспериментов показывают точность тренировки = 82,2%. Оценка тестового набора дает 80,03%. В результате, была получена обученная модель для оценки транспортного потока.

**Ключевые слова:** системы управления дорожным движением, интеллектуальные транспортные системы, SUMO, моделирование транспортных потоков

## INTRODUCTION

Maximizing the efficiency and throughput of transport networks is vital because of the continuously increasing volume of traffic and the limited construction of new highways in urban, intercity and open areas. Therefore, traffic de-

mand estimation problem is critical and it has been regarded as one of the key points of intelligent transportation systems [1]. Early detection of traffic congestion and forecasting the evolution of traffic flow are becoming a key measure

for identifying traffic bottlenecks that can be used to intelligence traffic control.

Most traffic signal control methods are based on models. A traffic flow is a dynamically changing, stochastic and non-stationary process. The creation of precise traffic flow models is complex and time-consuming task. Therefore Artificial Intelligence techniques are widely used for approximation the demand of traffic flow. In the current study we propose offline trained artificial neural network for traffic demand forecasting.

The artificial neural network is parameterized by the set of weight matrices

$$w = \{w^{(1)}, w^{(2)}, \dots, w^{(L-1)}\},$$

where L is the total number of layers in the neural network.

The matrix  $w^{(k)}$  for  $k = 1;$

$L - 1$  defines the transition from the  $k^{th}$  to the  $(k + 1)^{th}$  layer.

In order to be able to train the neural network, we need to define the cost function. The algorithm should adjust the weight matrices  $w$  so as to reduce the cost function as much as possible. Adam is used to update the weights of the neural network. It is a popular algorithm in the field of deep learning since it achieves good results fast. Adam realizes the benefits of both Adaptive Gradient Algorithm and Root Mean Square Propagation [2].

### THE PROPOSED METHOD

The demand estimation problem is formulated as a supervised learning task. The current task is divided into two components: data collection or generation and model construction for estimation. In the given study synthetic data is used for train model. Data is generated by open-source SUMO microscopic simulator [3, 4]. Fully-connected ANN trained for the traffic flow prediction.

*Dataset.* For the training process we generated synthetic data using simulator. Different traffic flow settings and phase durations are used for the data collection process.

The test network is divided in to four directions and each of them considered independent-

ly. Equally steady four level traffic is simulated (Table 1). The demand higher than 0.4 for each direction is not considered, due to physical limitation of the transport network. The test intersection with current settings will not fit more vehicles than the given demand can provide. Each simulation lasts 50000 seconds.

Configuration	NS	SN	WE	EW
1. (0-50000 s)	0.1	0.1	0.1	0.1
2. (0-50000 s)	0.2	0.2	0.2	0.2
3. (0-50000 s)	0.3	0.3	0.3	0.3
4. (0-50000 s)	0.4	0.4	0.4	0.4

**Table 1. Demand models**

Each demand model has been simulated with 81 predefined signal plans. Totally, 4500 simulation hours with stationary environment were launched for the data collection.

The intersection has the green, red and amber phases. The signal plan of each cycle comprises the following components:

1. Green (NS) - Red (WE)
2. Amber
3. Green (WE) - Red (NS)
4. Amber

For the data generation task a fixed signal control was set to the environment.

The representation given below is the green phase duration in the non-conflicting directions. The minimum duration is 12 seconds, the maximum is 60. Step size is  $dt$ .

- $A_0 = (12, 12)$
- $A_1 = (12, 12 + dt)$
- $A_2 = (12, 12 + 2*dt)$
- ...
- $A_n = (60, 60)$

In the current study we considered  $dt$  as 6 seconds. The data extraction occurred every 6 seconds.

The recorded data contains the following information:

- number of halting cars in four directions (NS, SN, WE, EW)

- the green phase durations in both non-conflicting directions
- vehicle’s average delay time in each direction.
- current phase id
- remaining time (in seconds) till the end of the current phase.

Since the data is obtained after a certain period of time, and not in a single phase, we recorded the current phase id and the rest of the time until the end of given phase. Mean normalization used for the data scaling.

Finally, dataset with 2700540 rows of data has been generated for the further work.

*Demand estimation.* For the traffic demand estimation based on the generated data fully – connected 3-layered ANN is trained. In order to pick up the architecture of the NN we conduct the series of experiments starting with the simplest model and do it more complex step by step. To approximate the relationship of the input data and four categories the model with the following architecture is chosen as the optimal one (Table 2).

Layer	Number of neurons
Input Layer	60
Fist hidden layer	30
Second hidden layer	44
Output Layer	4

Table 2. NN architecture

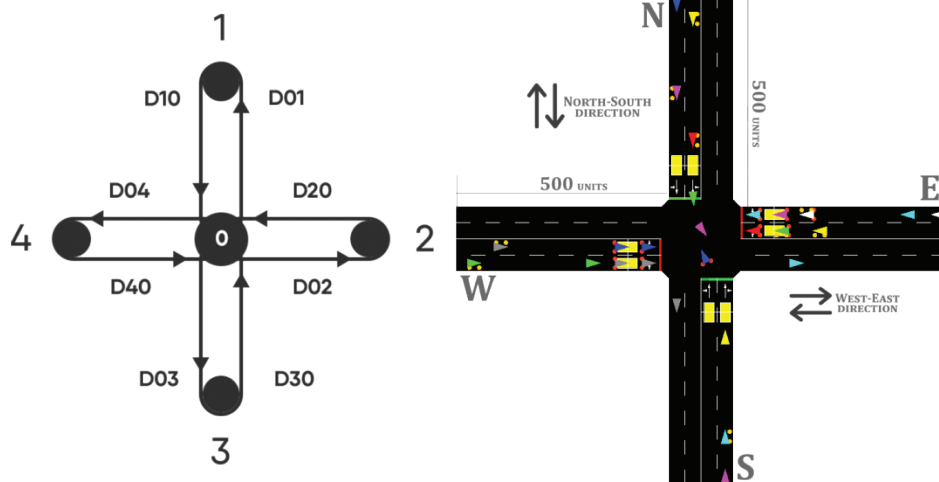


Figure 1. Test transport intersection

Input data is 60-dimensional vector, which contains 10 last consequent records concatenated into one vector:

- number of halting cars
- average delay time
- green duration in NS
- green duration in WE
- current phase id
- remaining time till the end of the phase.

Since the appearance of cars in different directions is independent of each other and our test intersection is an isolated one, the demand prediction for each direction was done separately. We trained the model to estimate with data from one edge.

Since our task is formulated as a classification problem, the output layer has 4 neurons, which are corresponding to each class. The output vector is the class relationship probabilities.

### EXPERIMENTS AND RESULTS

Test transport intersection (Figure 1). An isolated intersection built in SUMO DLR [7]. Each edge has two lanes. The average length of links is 100 meters. The average length of each vehicle is approximately 5 meters. We do not considered the U-turns, public transport, pedestrians, traffic rules violations, traffic road accidents, and parking [5].

The free parameters were selected by experimentation and comparison way. The optimal one is given in the Table 3.

Parameter	Value
Learning rate	0.001
$\beta_1$	0.9
$\beta_2$	0.9
Epoch	150
Batch size	64
Activation function of the hidden layers	ReLu
Activation function of the output layer	Softmax

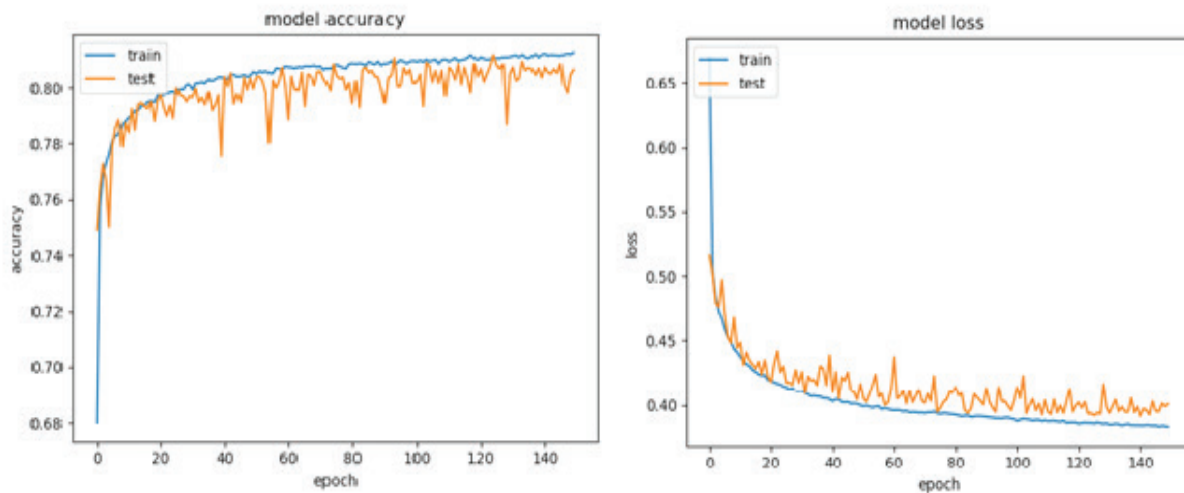
**Table 3. Parameters of the NN**

In our synthetic data 10 consequent rows are fixed and combined into blocks. The given blocks are permuted randomly. The generated shuffled dataset is split into two components: training set and testing set, with 80% and 20% of all data respectively.

The results of experiments show training accuracy = 82.2%. The evaluation of the test set shows 80.03%. Finally we obtained trained model, instead of model that learned our training data (Figure 2).

### CONCLUSION

In the given paper, we proposed an offline trained ANN based model for traffic demand estimation. Firstly, we generated synthetic data us-



*Figure 2. The model train and test results*

ing simulator to collect dataset. Estimation problem formulated as a supervised learning task. Based on input information our model makes classification of the traffic demand. Good accuracy was obtained during the training and testing processes. Experiments are conducted on an isolated intersection that was built in the simulator.

In the future, it is planned to create the model on a more complex neural network architecture as a Recurrent Neural Network and test demand prediction module with traffic signal controller system. In addition, implementation and testing of system on the multi-intersection transport network is needed.

## REFERENCES

1. Du S., Li R., Gong X., Hong S., A Hybrid Method for Traffic Flow Forecasting Using Multimodal Deep learning. Machine Learning. Cornelle University, 2019. <https://arxiv.org/pdf/1803.02099.pdf>
2. Bernico M., Deep Learning Quick Reference. Packt Publishing, 2018.
3. SUMO – Simulation of Urban Mobility. Institute of Transportation Systems. Available at: <http://sumo.dlr.de/wiki/SUMO>
4. Kurmankhojayev D., Tolebi G., Analysis of the traffic flow modeling systems. Herald of the Kazakh-British technical university, № 4 (47), 2018. pp. 31-36.
5. Kurmankhojayev D., Suleymenov N., Tolebi G., Online model-free adaptive traffic signal controller for an isolated intersection. 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), 2017. pp. 109-112

УДК 621.01  
МРНТИ 30.15.35

## II РЕТТІ IV КЛАССТЫ АССУР ТОБЫНЫҢ АЛТЫ БУЫНДЫ МЕХАНИЗМІНІҢ КИНЕМАТИКАСЫН ЗЕРТТЕУ

Г.А. ТУКЕШОВА<sup>1</sup>, Б.М. МЕРКИБАЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті

<sup>2</sup>академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы ММашИ

**Аңдатпа:** Ілгерілемелі жұбы бар тұйықталып өзгертін контурымен II ретті IV классты Ассур тобымен алты буынды механизмнің кинематикасы «бастапқы» орынды анықтаудың жалпы сұлбасы арқылы қарастырылады. Бұл әдіс жоғары классты механизмдердің қозғалатын өзгермелі контурдың буындарынан біреуін таңдап және тіреуді шартты алмастыра отырып жоғары классты механизмдердің классын төмендетуге негізделген; содан кейін, шартты таңдалған тіреуге қатысты алмастырылған қозғалыста жалпыланған координат ретінде шартты түрде таңдалған тіреу мен сыбайлас контурлы буын арасындағы бұрыш алынады. Осы әдіс жоғары классты Ассур тобының класстарын II немесе III класстарға төмендетуге мүмкіндік беретінін көреміз. Сонымен қатар, Ассур топтарының әртүрлі бір және көп контурлы жоғары классты механизмдерге де қолдануға болады. Тіреуді шартты түрде ауыстыруды пайдалану «бастапқы» орынды талдау есебін аналитикалық шешімге немесе шартты жалпыланған координаттар әдісін екі нақтылы функцияны бір уақытта азайтуды талап ететін үйлеспеушіліктің тек бір нақты функциясын азайтуға әкеледі, осылайша, осындай түрдегі механизмді талдау есебі жеңіл түрге келеді. Жоғары классты механизмдердің «бастапқы» орынды анықтау жөніндегі есепті сандық шешуде кең қолданып шартты жалпыланған координаттар әдісін, оның мағынасы тұйықталған векторлық теңдеулердің проекциялар жүйесін бірқалыпсыз және бірқалыпты таралған жетегімен Ассур топтарына сәйкес бір немесе бірнеше сызықсыз тригонометриялық теңдеулерге түрленуінде болып табылады. Сандық компьютерлік анализ көрсетілген «бастапқы» орынды анықтау әдісі жоғары классты механизмдердің орнын талдаумен салыстырғанда әлдеқайда компьютерлік аз уақыт талап ететінін көрсетеді. Тіреуді шартты ауыстыру әдісі жоғары классты механизмдердің «бастапқы» орынды талдауда компьютерлік бағдарламалардың әсерлі жиынтығын құруға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** «бастапқы» орын, тіреуді шартты ауыстыру, жоғары класс механизмі, өзгертін тұйықталған контур

## STUDY OF THE KINEMATICS OF THE SIX-MEMBERED MECHANISM OF ASSUR GROUP IV OF CLASS II ORDER

**Abstract:** Study of the kinematics of a six-element mechanism containing an Assur Group IV class II order group with a variable closed loop with a translational pair is considered with a general scheme for determining the “initial” positions. The method is based on lowering the class of high-class mechanisms by conditionally replacing the rack and selecting as its one of the links of the movable variable contour of the mechanisms of the high classes; then, in reverse motion relative to the conventionally selected racks, the angle formed by the conventionally selected rack and the adjacent contour link is taken as the generalized coordinate. This method allows to lower to the II class or the III class of Assur groups of high classes. The method is also applicable to the mechanisms of high classes with different single and multi-circuit Assur groups. Applying conditional replacements of racks reduces the task of analyzing the “initial” positions to analytically solving or minimizing only one objective function of the residual where the conditional generalized coordinates method requires the simultaneous minimization of two objective functions, and thus the task of analyzing this kind of mechanism is simplified. In the numerical solution of the problem of finding the “initial” positions of high-class mechanisms, we can mention the widely used method of conditional generalized coordinates, the essence of which is to

*transform the projection system of vector equations for closed contours to one or two nonlinear trigonometric equations, respectively for Assur groups with non-uniformly and uniformly distributed leads. Numerical computer analysis shows that the proposed method of determining the “initial” positions requires significantly less computer time as compared to the approaches of analyzing the positions of the mechanisms of the high classes. The method of conditional replacement of racks allows you to create an effective set of computer programs for analyzing the “initial” positions of high-grade mechanisms.*

**Keywords:** “initial” position, condition of the rack replacement, high class of the mechanism, changeable closed loop

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ШЕСТИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА ГРУППЫ АССУРА IV КЛАССА II ПОРЯДКА

**Аннотация:** Исследование кинематики шестизвеного механизма, содержащее группу Ассура IV класса II порядка с изменяемым замкнутым контуром с поступательной парой, рассматривается в общей схеме определения «начальных» положений. Метод основан на понижении высокого класса механизмов путем условной замены стойки и выбора в качестве ее одного из звеньев подвижного изменяемого контура. Далее в обращенном движении относительно условно выбранных стоек в качестве обобщенной координаты рассматривается угол, образованный условно выбранной стойкой и смежным контурным звеном. Этот способ позволяет понизить до II-го или III-го класса групп Ассура высоких классов. Метод также применим для механизмов высоких классов с различными одно- и многоконтурными группами Ассура. Применение условных замен стоек сводит задачу анализа «начальных» положений к аналитическому решению или минимизации лишь одной целевой функции невязки там, где метод условных обобщенных координат требует одновременной минимизации двух целевых функций, и таким образом задача анализа такого вида механизмов упрощается. В численном решении задачи о нахождении «начальных» положений механизмов высоких классов можно упомянуть широко применяемый метод условных обобщенных координат, суть которого заключается в преобразовании системы проекции векторных уравнений замкнутости контуров к одному или к двум нелинейным тригонометрическим уравнениям, соответственно для групп Ассура с неравномерно и равномерно распределенными поводками. Численный компьютерный анализ показывает, что предполагаемый способ определения «начальных» положений требует значительно меньше компьютерного времени по сравнению с подходами анализа положений механизмов высоких классов. Способ условной замены стоек позволяет создать эффективный комплекс компьютерных программ анализа «начальных» положений механизмов высоких классов.

**Ключевые слова:** «начальное» положение, условие замены стойки, высокий класс механизма, изменяемый замкнутый контур

### Кіріспе

Ілгерілемелі жұбы бар тұйықталып өзгеретін контурымен II ретті IV классты Ассур тобы бар алты буынды механизмнің кинематикасы «бастапқы» орынды анықтаудың жалпы сұлбасы арқылы қарастырылады [1]. Бұл әдіс жоғары классты механизмдердің қозғалатын өзгермелі контурдың буындарынан біреуін таңдап және тіреуді шартты алмастыра отырып жоғары классты механизмдердің классын төмендетуге негізделген; содан кейін, шартты таңдалған тіреуге қатысты алмастырылған қозғалыста жалпыланған коор-

динат ретінде шартты түрде таңдалған тіреу мен сыбайлас контурлы буын арасындағы бұрыш алынады.

Стефенсон типті жазық алты буынды механизмнің кинематикасын қарастырайық (Артоболевский И.И. жіктелуі бойынша бұл IV классты механизм). Осы және басқа да осыған сәйкес механизмдердің кинематикасы бойынша жұмыстардың талдауы кезінде механизмдердің орнын талдауда әртүрлі графикалық және сандық әдістер бар екенін көрсетеді [2].

**1 Қозғалыс кезіндегі координаттар орны**

**1.1 Салыстырмалы қозғалыс кезіндегі координаттар орындары**

Графикалық және сандық әдістермен қоса, Стефенсон типті жазық алты буынды механизмдердің кинематикалық анализін зерттеуге тағы бір жол табылды. Ол бұл мәселені механизмнің орындарын талдау барысында шешеді. Мұның мағынасы келесіде:

1. Механизмнің тіреуі ретінде осы механизмдердің құрамына кіретін қозғалмалы төртбуынды контурдың буындарынан біреуі таңдалады;

2. Механизмнің қозғалысы енді осы таңдалған тіреуге байланысты қарастырылады;

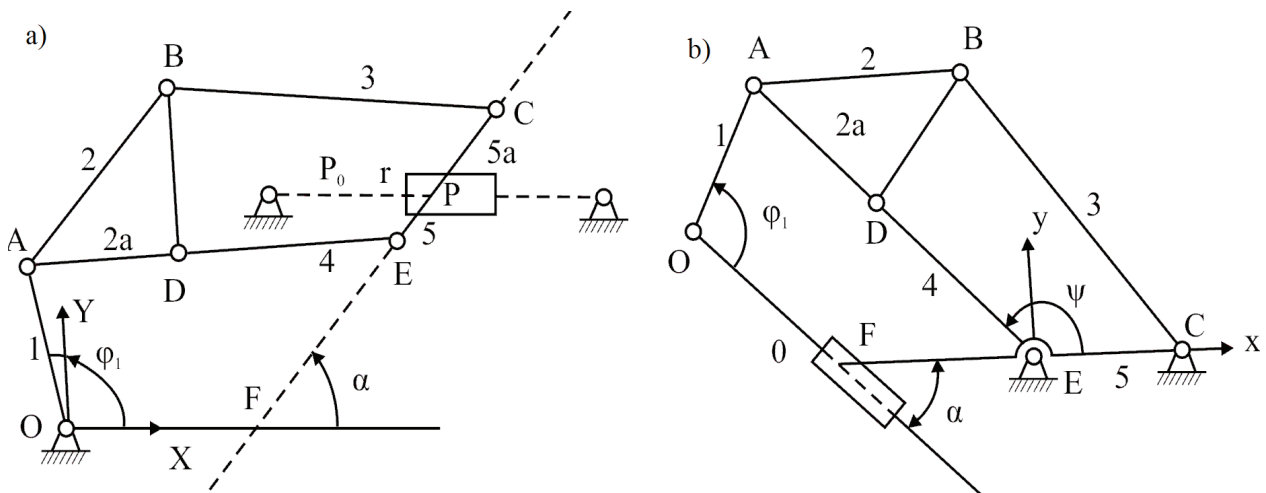
3. Өзгеретін параметр ретінде таңдалған тіреу және қозғалмалы төрт буынды өзгеретін контурдың буынымен сыбайлас туындаған бұрыш алынады [4];

4. Осымен салыстырмалы қозғалыстағы механизм II классты алты буынды механизмге түрленеді;

5. II классты алты буынды механизмді алу үшін орындардың аналитикалық талдауы жүргізіледі;

6. Шартты тіреу қозғалысын абсолютті қозғалыс тіреуіне байланысты ауыстыра отырып, анықталған механизмнің салыстырмалы орны алғашқы орынға келтіріледі.

Стефенсон типті ішкі ілгерілмелі жұбы бар жазық алты буынды механизмнің кинематикасын қарастырайық (1а сурет).



1-сурет. Алты буынды механизмнің кинематикалық сұлбасы

Бұл механизмнің  $OXY$  координат жүйесінде  $O$  тіреуінің координаталары;  $OX$  өсіне  $E$  және  $C$  топсалары арқылы өтетін және оны  $F$  нүктесінде қиятын түзуге көлбеуленуші  $\alpha$  бұрышы, сонымен қатар  $l_{AO}, l_{AB}, l_{AD}, l_{BD}, l_{AC}, l_{DE}, l_{CE}$ . Тіреуді шартты ауыстырудың «бастапқы» орнын ауыстыруы жөніндегі есепті шешейік, яғни,  $A, B, C, D, E$  шарнирлерінің координаттары мен  $\varphi_1$  бұрышы арасын байланыстыратын арақатынасты анықтаймыз. Шартты түрде қандай да бір контурлық буынды, мысалы 5-ші буынды тіреу ретінде аламыз [5]. 5-ші буынмен қата байланысқан  $EXY$  координата-

сына байланысты толық механизмнің қозғалысын қарастырайық, бұл жерде абсциссалар өсі  $C$  нүктесі арқылы өтеді. Жалпыланған координата ретінде 4 және 5 буындарының арасындағы  $\psi$  бұрышын алайық (1b сурет).

$D$  және  $C$  шарнирлерін айнымалы  $\overline{l_{DC}}$  векторымен қосамыз, ол келесі түрде анықталады [6]:

$$x_c = l_{DC} \cdot y_c = 0, \quad x_D = l_{DE} \cdot \cos \psi, \quad y_D = l_{DE} \cdot \sin \psi$$

$$l_{DC} = \sqrt{(x_c - x_D)^2 + (y_c - y_D)^2}; \quad \varphi_{DC}^{(5)} = \arctg \left[ \frac{y_c - y_D}{x_c - x_D} \right],$$

мұндағы «(5)» индексі шартты түрде тіреудің

орнына 5-ші буын алынғанын көрсетеді (1b сурет).

$$\varphi_{BDC}^{(5)} = \pm \arccos \left[ \frac{l_{BD}^2 + l_{DC}^2 - l_{BC}^2}{2l_{DC} \cdot l_{BD}} \right]$$

бұрышын анықтаймыз, мұндағы  $\pm$  таңбалары  $BDC$  топтарының құрастырылуын анықтайды. Салыстырмалы қозғалыс кезіндегі  $B$  нүктесінің орны

$$\varphi_{BDC}^{(5)} = \pm \arccos \left[ \frac{l_{BD}^2 + l_{DC}^2 - l_{BC}^2}{2l_{DC} \cdot l_{BD}} \right]$$

болады.

$\varphi_{ADB}^{(5)} = \pm \arccos \left[ \frac{l_{BD}^2 + l_{AD}^2 - l_{AB}^2}{2l_{BD} \cdot l_{AD}} \right]$  анықтаймыз, мұндағы  $\pm$  таңбалары  $BDC$  топтарының құрастырылуын айқындайды. Онда салыстырмалы қозғалыс кезіндегі  $A$  нүктесінің орны:

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_B \\ y_B \end{bmatrix} + l_{AB} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\varphi_{DB}^{(5)} \pm \varphi_{ADB}^{(5)}) \\ \sin(\varphi_{DB}^{(5)} \pm \varphi_{ADB}^{(5)}) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

$A$  шарниріндегі центрімен және  $l_{AO}$  радиусымен шеңбердің теңдеуі  $(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2 = l_{OA}^2$ . Берілген  $(x, y)$  координатасы арқылы өтетін және берілген  $\alpha$  бұрышы тірелген  $y = k_1x + b$  түзуімен құратын түзу теңдеуі:

$$y - y_1 = \frac{k_1 \pm \operatorname{tg} \alpha}{1 \mp k_1 \operatorname{tg} \alpha} (x - x_1), \quad (2)$$

онда  $EXY$  координат жүйесінде  $E$  және  $C$  шарнирлері арқылы өтетін, берілген  $y = 0$  түзуіне  $\alpha$  бұрыш жасап  $F(-l_{FE}, 0)$  нүктесі арқылы өтетін түзу теңдеуі:

$$y = \pm \operatorname{tg} \alpha \cdot (x + l_{FE}) \quad (3)$$

Шеңбердің түзумен қиылысу нүктесін анықтау үшін (3) теңдеуін (2) теңдеуі түрінде қарастырамыз және  $x$  бойынша квадраттық теңдеу аламыз:

$$(x - x_A)^2 + (\pm \operatorname{tg} \alpha (x + l_{FE}) - y_A)^2 = l_{OA}^2, \quad (4)$$

осыны шеше отырып және (3) ескере отырып  $O(x_o, y_o)$  координаталарын анықтаймыз.

### 1.2 Абсолютті қозғалыс кезіндегі координаталар орындары

Енді салыстырмалы қозғалыстан абсолютті қозғалысқа көшу формулаларын қолдана отырып,  $OXY$  координат жүйесіне қатысты абсолютті қозғалысқа көшеміз. Берілген  $\psi$  бұрышы мәні үшін  $A, B, C, D, E$  шарнирлерінің координаттары мен  $\varphi_1$  бұрышының негізгі мәндерін табайық:

$$\begin{cases} X_A = (x_A - x_o) \cos \alpha + (y_A - y_o) \sin \alpha \\ Y_A = (x_A - x_o) \sin \alpha + (y_A - y_o) \cos \alpha \end{cases}, \quad \begin{cases} X_B = (x_B - x_o) \cos \alpha + (y_B - y_o) \sin \alpha \\ Y_B = (x_B - x_o) \sin \alpha + (y_B - y_o) \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_C = (x_C - x_o) \cos \alpha + (y_C - y_o) \sin \alpha \\ Y_C = (x_C - x_o) \sin \alpha + (y_C - y_o) \cos \alpha \end{cases}, \quad \begin{cases} X_D = (x_D - x_o) \cos \alpha + (y_D - y_o) \sin \alpha \\ Y_D = (x_D - x_o) \sin \alpha + (y_D - y_o) \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_E = (x_E - x_o) \cos \alpha + (y_E - y_o) \sin \alpha \\ Y_E = (x_E - x_o) \sin \alpha + (y_E - y_o) \cos \alpha \end{cases} \quad (5)$$

$OXY$  координат жүйесінде  $A(X_A, Y_A), B(X_B, Y_B), C(X_C, Y_C), E(X_E, Y_E), D(X_D, Y_D)$ , шарнирлерінің координаталарын анықтап, белгілі формулалар көмегімен барлық буындардың көлбеуленген бұрыштарын табамыз.

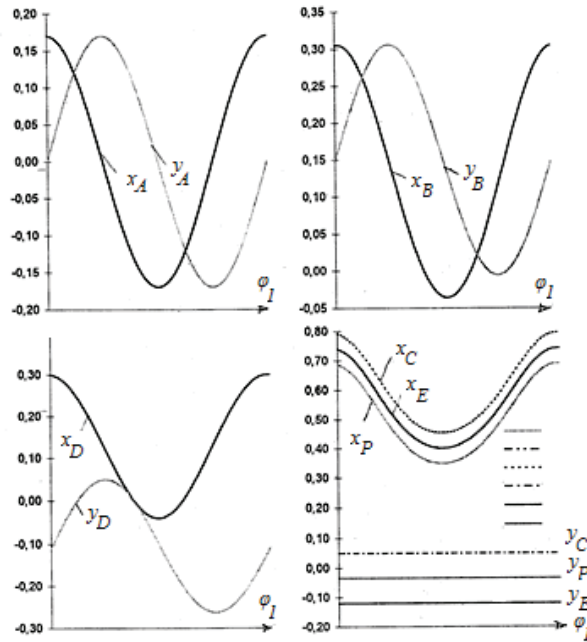
### 2 Механизмнің нүктелер және бұрыштық жылдамдықтары мен үдеулері

Мысал ретінде, механизмнің параметрлер мәнін келесі түрде аламыз:  $X_o = 0, Y_o = 0$  қос иін координаталары;  $L_{AO} = 0.17, L_{AB} = 0.17, L_{AD} = 0.20, L_{BC} = 0.5, L_{DE} = 0.39, L_{CE} = 0.2, Y_E = -0.12, Y_C = -0.05$  буындар ұзындықтары;  $\alpha = 0^\circ$  бұрышы, 2-ші буынның  $l_{AB}$  және  $l_{AB}$  арасындағы бұрыш  $\beta = 8^\circ$ . 1 қос иіннің бұрыштық жылдамдығының мәнін  $\omega_1 = 200 \text{ c}^{-1}$

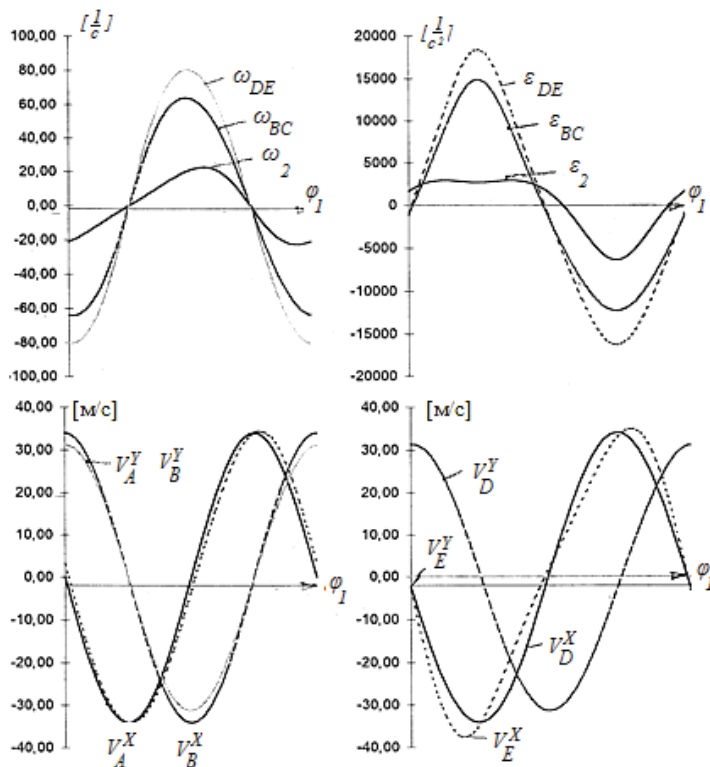
деп аламыз, 1 қос иіні айналмалы қозғалыстың толық айналымын жасайды.

2 суретте 1 қос иінінің  $A$  нүктесінің; 2-ші буынның  $B, D$  нүктелерінің; жетекші 1 қос иінің толық айналмалы айнымалысының  $\varphi_1$  бұрыштық орны функциясы ретінде

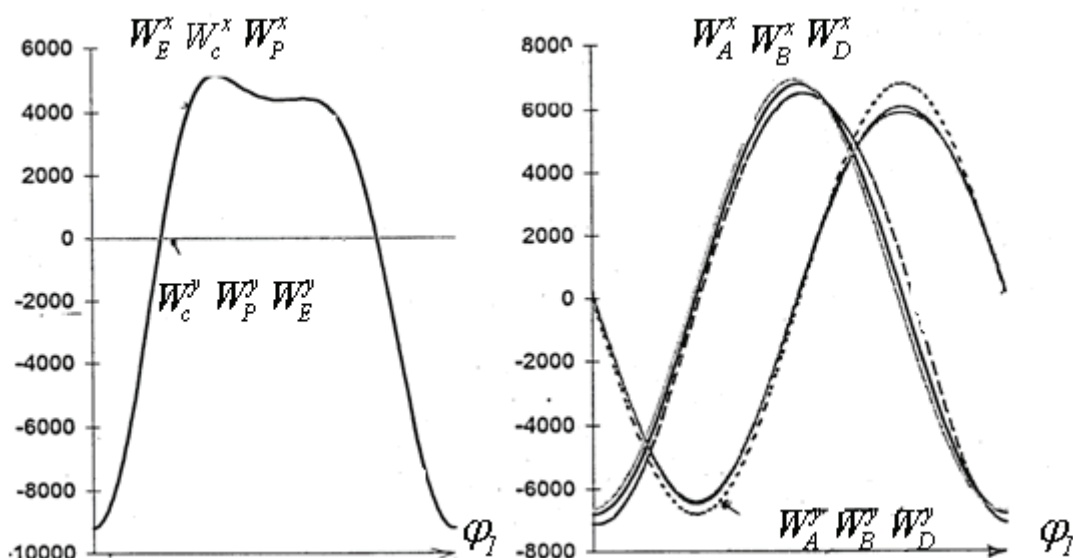
5-ші сыртқы сырғақтың  $C, D, E$  нүктелерінің жылдамдықтары; 3-ші суретте 2-ші буынның және  $BC$  және  $DE$  буындарының бұрыштық жылдамдықтары мен үдеулері; сәйкесінше 3-4 суреттерде  $A, B, C, D, E$  нүктелерінің жылдамдықтары мен үдеулері көрсетілген [3].



2-сурет. Нүктелердің орын ауыстыруы



3-сурет. Нүктелердің жылдамдықтары мен үдеулері



4-сурет. Нүктелердің үдеулері

### 3 Қорытынды

Бұл жұмыста «бастапқы» орынды анықтаудың жалпы схемасымен II ретті IV классты Ассур тобы бар алты буынды механизмнің кинематикасы қарастырылған.

Сандық компьютерлік анализ көрсетілген «бастапқы» орынды анықтау әдісі жоғары классты механизмдердің орнын талдау-

мен салыстырғанда әлдеқайда компьютерлік аз уақыт талап ететінін көрсетеді. Тіреуді шартты ауыстыру әдісі жоғары классты механизмдердің «бастапқы» орынды талдауда компьютерлік бағдарламалардың әсерлі жиынтығын құруға мүмкіндік береді.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Y.S.Temirbekov, S.U. Joldasbekov Kinematic Advantage of Six-membered Mechanism of Class IV // 3rd IFToMM Asian Conference on Mechanism and Machine Science (Asian-MMS 2014) and International Conference on Mechanism and Machine Science, China (CCMMS 2014). Tianjin, China, 2014, P. 39-45.
2. Джолдасбеков У.А., Темирбеков Е.С. Некоторые аспекты анализа и синтеза механизмов высоких классов. – Астана: Акмолинский ЦНТИ, 2006. – 299 с.
3. Молдабеков М. Аналитические методы анализа и синтеза, автоматизированное проектирование механизмов и манипуляционных устройств высоких классов. Диссертация ... доктора технических наук. – Алма-ата, 1989.
4. Y.S.Temirbekov, Baimukhanov S. Designing of Sixlink Mechanism Schemes with the Changeable Contour. Taking into Account Forces Transfer // World Congress on Engineering. London, U.K., 6-8 July, 2011, p.38-43
5. Темирбеков Е.С. Анализ и синтез механизмов III класса с изменяемым замкнутым контуром. Диссертация ... кандидата технических наук. – Алма-Ата, 1986.
6. Джолдасбеков У.А., Байгунчехов Ж.Ж. Аналитическая кинематика плоских рычажных механизмов высоких классов. – Алма-Ата: изд-во КазГУ, 1980. – 101 с.

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО- ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

---

УДК 377.6

МРНТИ 14.33.07

## MODERNIZATION OF TECHNICAL AND VOCATIONAL EDUCATION: PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

D. BISSENBAYEVA

*Almaty Management University*

**Abstract:** *This paper examines the possibilities of modernizing the system of technical and vocational education in accordance with the needs of society and the development of the economy. The current problem of the low percentage of employment of students in their specialty in the system of technical and vocational education (VET) is being raised. Particular attention is drawn to the need to change a number of traditional approaches to the system of training specialists. Based on world experience, the introduction and support of a dual education program is proposed, which should be implemented in close cooperation with employers and social partners interested in the development of dual education.*

**Keywords:** *technical and vocational education, VET, vocational education, dual education system, vocational training, modernization of education*

## ТЕХНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КӘСІПТІК БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІН ЖАҢҒЫРТУ: ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ МЕН ПРОБЛЕМАЛАРЫ

**Аңдатпа:** *Осы мақалада қоғамның қажеттіліктеріне және экономиканы дамытуға сәйкес техникалық және кәсіптік білім беру жүйесін жаңғырту мүмкіндігі талқыланды. Қазіргі таңда техникалық және кәсіптік білім беру жүйесінде студенттердің өз мамандығы бойынша жұмыспен қамтылуының төмен пайызын көрсетуде. Мамандарды даярлау жүйесіндегі бірқатар дәстүрлі тәсілдерді өзгерту қажеттілігіне ерекше көңіл бөлінеді. Әлемдік тәжірибеге сүйене отырып, дуальды білім беруді дамытуға мүдделі әлеуметтік серіктестер және жұмыс берушілермен тығыз ынтымақтастық арқылы жүзеге асырылуы тиіс дуальды білім беру бағдарламасының енгізілуі мен қолдауы ұсынылды.*

**Түйінді сөздер:** *техникалық және кәсіптік білім беру, ТжКБ, кәсіптік білім беру, дуальды білім беру жүйесі, кәсіптік оқыту, білім беруді жаңғырту*

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Аннотация:** *В данной работе рассмотрены возможности модернизирования системы технического и профессионального образования в соответствии с запросами общества и развития экономики. Поднимается актуальная на данный момент проблема, связанная с низким процентом трудоустройства учеников по своей специальности в системе технического и профессионального образования (ТиПО). Особое внимание обращается на необходимость изменения ряда традиционных подходов к системе подготовки специалистов. На основе мирового опыта предлагается внедрение и поддержка программы дуального образования, которая должна быть реализована в тесном*

*сотрудничестве с работодателями и социальными партнерами, заинтересованными в развитии дуального образования.*

**Ключевые слова:** *техническое и профессиональное образование, ТиПО, профессиональное образование, дуальная система образования, профессиональная подготовка, модернизация образования*

State Program for the Development of Education in 2011–2020 set an important goal for the pedagogical community - to modernize the system of technical and vocational education in accordance with the demands of society and the industrial-innovative development of the economy. Technical and vocational education belongs to the function of “cultivation” of human capital, providing conditions for high-quality training for all sectors of the economy.

The concept of modernizing technical and vocational education until 2020 envisages of ensuring the adaptation of educational structures to the new system of socio-economic relations, creating conditions for diversifying responsibility for the development of education between the state, employers and civil society. At the present stage of development of the country, the educational institutions of technical and vocational education are facing a number of issues. What should they be? How to organize education? How to raise the prestige of the educational institution in the market of educational services? And so on. The main task of Technical and Vocational Education is to form a new model of vocational training that would overcome the lag in the volume and quality of labor resources from the actual requirements of specific enterprises. After all, the training of highly skilled workers and mid-level specialists is one of those tasks whose solution can ensure the sustainable economic development of any country.

The main problem in the system of technical and vocational education is the low rate of employment of yesterday’s students in their specialty. A modernization of the technical and vocational education system is underway, a new management system is being introduced, and the main task in it is to employ students.

High-quality professional education today is a means of social protection, a guarantee of stability, professional self-realization of a person at different stages of life. The state

program for the development of education for 2011–2020 has set an important goal for the pedagogical community — to modernize the system of Technical and Vocational Training in accordance with the demands of society and the industrial and innovative development of the economy. The transition from industrial society and simple technological operations to the post-industrial type of economy requires a large number of specialists who can work with packages of modern technologies in changing external conditions that encourage a person to independently assess the situation and make responsible decisions. A modern worker should have a deep and comprehensive knowledge of technique, equipment, technology, skills of effective and rational use of them in production. It is impossible to solve this urgent task for modern Kazakhstan without training qualified teachers of technical and vocational education organizations trained in the appropriate specialization.

The format of the implementation of state programs for the modernization of technical and vocational education includes a number of activities. First of all, it is the reorganization of educational institutions by transforming it into a single type of educational institution, college. Also provides two-level training of specialists. At the same time, it is planned to improve the qualifications of teachers of special disciplines and masters of industrial training abroad. [1]

Modernization of vocational education determines the need for a fundamental change in a number of traditional approaches to the system of training specialists. Today, the dual training system is one of the most effective forms of vocational training in the world. Its peculiarity lies in the fact that training is conducted mostly not in an educational institution, but in an enterprise.

This system is successfully used in countries such as Germany, Austria, Denmark, the Netherlands, Switzerland. The dual model is

a combination of the interests of the business, the future specialist and the state.

This system assumes that 70-80% of the time the student is studying directly in the workplace, and only 20-30% - in college.

The dual system is in the interests of all parties involved in it - enterprises, workers, the state. For an enterprise, it is an opportunity to prepare personnel for itself, saving on expenses for searching and selecting employees, retraining and adapting them. [2]

Approximately half of young people in Germany after school acquire one of the 350 officially recognized educational professions within the dual system. Learning a profession is different from the purely school vocational training typical of many countries. 3-4 days a week at the enterprise practical training is conducted, and the theory of the specialty is taught 1-2 days a week in a vocational school. Duration of study - from 2 to 3.5 years.

More than 80% of student places are provided by small and medium-sized firms. Due to the presence of the dual system, the proportion of young people who do not have a profession or apprenticeship in Germany is relatively small: only 4.2% among those aged 15 to 19 years.

As for the unemployment rate in Germany, the average number of unemployed is 7.8%. If we talk about the unemployment rate among young people under 25, in Germany it is 7%, in Greece - 45%, in Spain - 43%, in Slovakia - 33%, in France - 30%. Thus, the figures clearly show the advantages of the German dual training system.

The combination of theory and practice guarantees the high qualification of artisans and workers. Vocational training is the beginning of a career that enables you to become a master in further studies.

The indisputable advantages of dual training should be attributed, and the fact that it:

- Firstly, a high percentage of graduates are employed, because they fully meet the requirements of the employer. Training as close as possible to production requests.

- Secondly, a high motivation to gain knowledge is achieved. A new psychology of

the future employee is being formed. Students, first entrenched in the enterprise as potential workers, learn completely differently, more consciously and interested. The position of the passive consumer of educational information is replaced by the initiative position of a specialist in production, who needs to make decisions and take responsibility for them. The student used to adapt to the industrial relations in the team, learns social actions.

- Thirdly, the principle “from practice to theory” works; the student no longer works with texts and sign systems, but with production situations. Complex theories are easier to master through practice and the solution of real professional problems.

- Fourth, the assessment of the quality of training is carried out by employers themselves. From the first days the student spends most of his time in the workplace, shows his skills and diligence. Employers have the opportunity to assess the level of preparedness of future specialists directly in the production environment.

- Fifth, teachers should have not only good theoretical knowledge, but also own all the innovations in the workplace.

- Sixth, the burden on the budget is reduced. Part of the cost of vocational training is borne by the company

However, today there is no readiness from the industry and enterprises. Although created the necessary legal and regulatory prerequisites.

The first. The Law of the Republic of Kazakhstan «On Education» includes:

- the concept of “cooperative learning” as a form of training organization based on the responsibility of the state, employers and educational institutions. Almost analogous to the dual model;

- new article «Social partnership in the field of vocational education.» It identifies the main directions of interaction of employers in the training of specialists, the organization of professional practice and their employment, the involvement of employers in the process of training specialists from production, the assessment of the professional preparedness of graduates.

The second. The Labor Code of the Republic of Kazakhstan provides for the creation of a

National Qualification System, the development by employers of professional standards, the creation of an independent system of certification of workers' qualifications in industries.

As a result of the introduction of the dual system, the college develops programs based on the needs of the market in the region, develops its potential, improves the qualifications of teaching staff, which in general will improve the quality of training in educational institutions and lead to an increase in the competitiveness of the college. [3]

For an enterprise, dual education is an opportunity to prepare for themselves personnel exactly "to order", ensuring their maximum compliance with all their requirements, saving on expenses for searching and selecting employees, retraining and adaptation. In addition, it is possible to select the best students, because in three years all their strengths and weaknesses

become apparent. In turn, this approach motivates students to learn not for show.

The dual system provides excellent opportunities for managing your own career. The level of training within its framework is constantly increasing. No college education can provide such knowledge of production from the inside as dual training, which makes it an important step on the way to a successful career.

The idea of dual learning acquires its real practical contours. The interaction of education with business, labor market subjects is one of the components of the modern model, which is in demand by society. Therefore, it is precisely now that global support for the dual education program is needed, and work should continue on its implementation in close cooperation with employers and social partners interested in the development of dual education.

## REFERENCES

1. Law "On Education of the Republic of Kazakhstan"
2. State Program for the Development of Education in the Republic of Kazakhstan for 2011-2020.
3. Glushanok TM "Social partnership as a means of improving the quality of vocational education" // Modern problems of science and education. - 2008. - № 6 - p. 80-83
4. Oleynikova, O.N. (2005a) "Social Partnership in Vocational Education", Center for the Study of Vocational Education Problems (National Observatory), Moscow.
5. Oleynikova O.N. (2005b) "New models of social partnership in the field of vocational education (UK)", Secondary vocational education, No. 11., P. 50-52.
6. Agranovich M.L. Economic and social effects of education. Experience statistical analysis. - M.: Education, 2001. - 256 p.
7. Rodikov A.S. Some aspects of the profiling of educational services of the dual system of European education // Bulletin of the Military University. - 2010. - № 3 (23). - p. 41-46

УДК 338.242.2  
МРНТИ 06.81.12

## ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ КАК КАТАЛИЗАТОР УСПЕХА

А.А. ОРДАБАЕВ, Г.С. ТАЙКУЛАКОВА

*Алматы менеджмент университет*

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются вопросы повышения эффективности управления предприятием на примере компании по производству товаров промышленного назначения. Объектом исследования является ТОО «ЮгПромСталь». Целью данной статьи является изучение новых подходов к управлению компанией и разработка на их основе мероприятий по повышению эффективности системы менеджмента на предприятии. В результате проведенного исследования предполагается получение конкретных рекомендаций по внедрению операционного и финансового менеджмента, а также будут определены планы компании по развитию системы управления в целом. Основным ключевым фокусом определены основные индикаторы, отражающие конечную эффективность управления, на основе чего можно определить приоритетные направления по улучшению показателей измерения.

Для решения поставленной задачи автором были использованы различные подходы, в том числе логический и сравнительный анализ, методы теоретического и исследовательского подхода, методы анализа данных и экономико-математического моделирования. Авторами было акцентировано внимание на основных технико-экономических показателях компании «ЮгПромСталь», движение денежных потоков, анализ доходной и затратной части и другие финансовые показатели, улучшение которых прямо пропорционально повлияет на повышение эффективности управления в целом.

**Ключевые слова:** инструменты управления, эффективный менеджмент, показатели финансовой деятельности, экономический анализ

## EFFICIENT MANAGEMENT AS A SUCCESS CATALYST

**Abstract:** This article discusses issues of improving the efficiency of enterprise management on the example of a company for the production of industrial goods. The object of the research is LLP «Yug Prom Stal». The purpose of this article is to study new approaches to the management of the company and develop, on their basis, measures to improve the effectiveness of the management system in the enterprise. Because of the study, it is expected to receive specific recommendations on the implementation of operational and financial management, and will determine the company's plans for the development of the management system as a whole.

The main key focus identified the main indicators reflecting the ultimate management efficiency, based on which it is possible to determine the priority directions for the improvement of measurement indicators. To solve the problem, the author used various approaches, including logical and comparative analysis, methods of theoretical and research approach, methods of data analysis and economic and mathematical modeling. The authors focused on the main technical and economic indicators of Yug Prom Stal, cash flow, analysis of the income and cost part and other financial indicators, the improvement of which will directly proportional to the increase in management efficiency in general.

**Keywords:** management tools, effective management, financial performance indicators, economic analysis

## ТИИМДІ БАСҚАРУ МЕНЕДЖМЕНТІ ТАБЫСТЫҢ КАТАЛИЗАТОРЫ РЕТІНДЕ

***Аңдатпа:** Бұл мақалада өнеркәсіпті басқару тиімділігін арттыру көзделеді, соған сәйкес белгілі бір өнім өндіретін кәсіпорын тәңірегіндегі мәселелер қарастырылған. Зерттеу нысаны – «ЮгПромСталь» ЖШС. Осы мақаланың мақсаты компанияларды басқару жөніндегі жаңа тәсілдерін зерделеу және олардың негізінде менеджменттік басқару жүйесінің тиімділігіне қатысты іс-шараларды әзірлеу болып табылады. Зерттеу нәтижесінде операциялық және қаржылық басқаруды жүзеге асыруға орай нақты ұсыныстар ұсынылды. Сондай-ақ тұтастай басқару жүйесінің дамуы бойынша компанияның жоспарлары айқындалды. Сонымен қатар басқару тиімділігі көрсетілген соңғы негізгі көрсеткіштері анықталды. Ал енді осы негізгі өлшеу көрсеткіштерді жақсарту барысында басымдық бағытын қарастыруға ерекше көңіл бөлінді.*

*Мәселені шешу үшін авторлар логикалық және салыстырмалы талдау, теориялық және зерттеу әдістерін, деректерді талдау әдістерін және экономика-математикалық модельдеу әдістерін пайдаланды. Авторлар «ЮгПромСталь» компаниясының негізгі техникалық және экономикалық көрсеткіштеріне, ақшалай қаражаттардың қозғалысына, кірістер мен шығыстардың бөлігін талдау және басқа қаржылық көрсеткіштерді назарға алды. Олай болса, олардың жақсаруы тұтастай басқару тиімділігін арттыруға тікелей байланысты болады.*

***Түйінді сөздер:** басқару құралдары, тиімді басқару, қаржылық көрсеткіштер, экономикалық талдау*

### Введение

Развитие отраслей промышленного производства требует особого внимания и эффективных подходов в управлении активами. Ключевым фокусом эффективного менеджмента можно назвать инструменты краткосрочного и долгосрочного планирования и принципы организации производства. На примере компании по производству товаров промышленного назначения хотелось бы продемонстрировать использование новых подходов в управлении компанией и разработке на их основе мероприятий по повышению эффективности системы менеджмента в рамках предприятия. В результате проведенного исследования предполагается получение конкретных рекомендаций по внедрению операционного и финансового менеджмента, а также будут определены планы компании по развитию системы управления в целом. Следует выделить основные индикаторы, отражающие конечную эффективность управления, на основе чего можно определить приоритетные направления по улучшению показателей измерения. Для решения поставленной задачи будут исследованы различные подходы, в том числе логического и сравнительного анализа, методы теоретического и исследовательского подхода, методы анализа данных и экономико-математического моделирования. Анализ и оценка основных

техничко-экономических показателей компании «ЮгПромСталь», отчеты о движении денежных потоков, изучение доходной и затратной части помогут определить недостатки и болевые проблемные зоны, негативно влияющие на эффективность управления в целом.

### Основные катализаторы в управлении изменениями

ТОО «ЮгПромСталь» осуществляет свою деятельность на территории РК в Южно-Казахстанской области. Основная деятельность компании ориентирована на производство стальных труб из высококачественного сырья по технологиям международных стандартов. Эта продукция широко используется для добычи и перегонки нефти в отопительных котлах, в транспортной промышленности, также применяются в стальных конструкциях, таких как мостовые краны, мачты, опоры. Стальные трубы из нержавеющей стали можно использовать для систем горячего и холодного водоснабжения в пищевой и химической промышленности. Анализ потребления металлических труб в Казахстане указывает на ожидаемый рост спроса на трубы малого и среднего диаметра за счет таких секторов как коммунальное хозяйство, машиностроение и строительство [1].

Таблица 1 – Подходы к исследованию эффективности управления

Индикаторы эффективности управления	Области, влияющие на управление предприятием
Понимание работником своих задач	Разработка и описание бизнес-процессов. Постановка целей. Миссия компании. Корпоративная культура
Наличие у работника квалификации и компетентности	Правильное видение потребности в кадровых ресурсах. Подбор и расстановка кадров
Наличие у работника мотивации	Адекватная оценка результатов. Система материального стимулирования. Планирование карьерного роста.
Наличие у работника энергии для выполнения задач	Благоприятная рабочая среда. Благоприятный моральный климат. Пропаганда здорового образа жизни
Работник ориентируется в общих правилах и принципах	Миссия компании. Этические нормы. Корпоративная культура
Получение работником своевременной и полной информации	Продуманная информационная система. Контроль прохождения и восприятия информации
Интересы работника согласованы с интересами других работников	Учет индивидуальных мотиваций. Стремление к сотрудничеству
Действия работников скоординированы во времени и пространстве	Создание центров координации. Обучение планированию. Анализ. Корректировка
Действия работников подкреплены выделением ресурсов	Финансовое планирование и прогнозирование. Управление денежными потоками. Контроль ресурсов
Задачи и проблемы решаются в порядке их приоритетной значимости	Критерии принятия решений. Согласование приоритетов
Решения принимаются своевременно и качественно	Владение актуальной информацией. Делегирование полномочий. Обучение принятию решений
Составлено на основе источников [3,4]	

За последние два года компанией были запущены новые линии по производству профилей и изделий для технологических теплиц, алюминиевых профилей, металлоконструкций и каркасов для различных отраслей и профилей для гипскартона. Имеющиеся в распоряжении компании технологии, производственные площади и квалифицированный персонал позволяют организовать розничную торговлю продукцией, что увеличивает выручку компании, поставку продукции компании за пределы регионального рынка. В 2016 году за счет собственных и заемных средств банка, в соотношении 30/70%, были построены инфраструктурные объекты, складское здание. Вместе с тем компания за счет собственных средств ввела в действие тепличный комплекс, который приносит не только определенный доход, но и обеспечивает работников предприятия сельхозпродукцией собственного производства.

Об эффективности управления предприятием можно судить по тому, как рядовые работники понимают и воспринимают информацию о целях и задачах, умеют принимать правильные решения на своем уровне, действуют адекватно обстановке, нацелены на

решение задач предприятия. В таблице приведены некоторые индикаторы эффективности управления и влияющие на них области управления предприятием (таблица 1).

Если существующая на предприятии система управления не соответствует даже текущим задачам бизнеса, тогда она становится существенным тормозом в развитии, понижает конкурентоспособность и негативно влияет на показатели деятельности. Когда предприятие нацелено на развитие, расширение, выход на новые территории, на новые рынки сбыта, где столкнется в конкурентной борьбе с более сильными конкурентами, то проблема реорганизации системы управления становится очень актуальной. Поэтому, если ставится задача оценить эффективность управления развивающимся предприятием, то в первую очередь необходимо установить цели, к которым предприятие стремится, а затем провести диагностику существующей системы управления предприятием на соответствие будущим задачам.

Одна из наиболее важных задач на момент технологического развития предприятий в эпоху цифровой экономики – это создание эффективной системы управления на всех

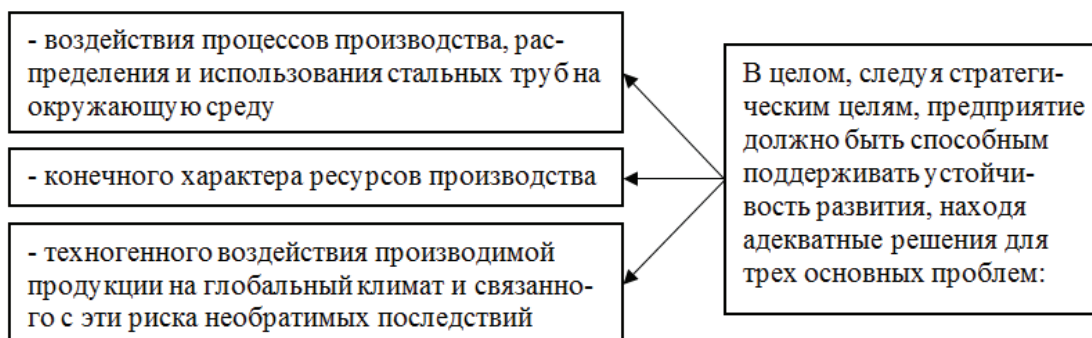


Рис. 1 – Основные проблемы, требующие эффективного решения [3]

уровнях. Цели национальной политики в области различных отраслей, механизмы функционирования систем производства, маркетинга и сбыта продукции должны быть четко определены на всех уровнях управления промышленной цепочкой. Интегрированная система управления отраслью предполагает наличие долгосрочной стратегии совершенствования организации и управления производством и достижение стандартов, характерных для ведущих компаний мира.

Авторитарно-административная структура управления должна быть четко отграничена от уровня управления хозяйственными решениями. Важным условием эффективного управления является также независимый характер деятельности различных уровней управления и хозяйственных единиц. Огромное значение для успешного проведения производственных операций имеет эффективное управление процессом получения и использования информации на всех этапах и стадиях, поскольку она является ценным активом компаний. При формировании рынка важно создать условия справедливой конкуренции между хозяйствующими субъектами, включая конкуренцию отечественных и зарубежных аналогичных компаний.

Для конкретных условий рыночной среды последовательно анализируются:

- прогнозы поведения макроэкономических показателей;
- основные факторы успеха деятельности предприятия на конкурентном рынке;
- сильные стороны, определяющие высокую конкурентоспособность;

- возможности, предоставляемые при выборе определенных стратегий;
- слабые стороны в системе поддержания устойчивости развития;
- риски, которым подвергается предприятие;
- сценарии возможного развития.

Такой анализ предполагает наличие самооценки предприятия и его намерений в отношении характера деятельности (торговля, транспорт, распределение), охвата/глубины предоставляемых услуг/создания стоимости, первичной и вторичной целевой клиентуры. Процесс развития от чисто финансового планирования к стратегическому управлению предприятия обычно занимает несколько лет. При этом эффективность стратегического процесса принятия решения возрастает по мере перехода от операций финансового планирования к стратегическому управлению.

Рассмотрим содержание вопросов, решаемых на отдельных этапах.

1. В сферу финансового планирования входят годовой бюджет и функциональное планирование.

2. При долгосрочном планировании разрабатывается бюджет на несколько лет, проводится анализ отклонений и определяется «статичное» распределение средств.

3. Стратегическое планирование охватывает следующий круг вопросов:

- стратегические поля предпринимательской деятельности, ориентированные на создание надежных преимуществ в борьбе с конкурентами;

- подробный анализ среды и конкуренции и творческие стратегические альтернативы;
- стратегия предприятия, направленная на повышение его стоимости;
- динамическая, ориентированная на потенциальные направления деятельности и целенаправленное управление ограниченными ресурсами (капиталом, трудовыми ресурсами);
- интерактивный процесс развития стратегии.

4. Стратегическое управление – это наиболее развитая фаза в структуре задач эффективного управления предприятием. Стратегическое управление включает предвидение и управление, четко определенные общие стратегические условия, широкие возможности и способности стратегического мышления, согласованные поддерживающие методы менеджмента (разработка целей, контроль и управление инновациями,

Слабые инструменты	Лучшие решения
Ориентация на короткие сроки Фокусирование на финансовые показатели Экстраполяция тенденций Психология взаимообусловленности событий Гипотеза последовательного развития рынка Ошибочная оценка технологических изменений Недооценка международных конкурентов/ поставщиков Недостаточный учет изменений в социально-политической сфере	10-15-летний горизонт Принятие во внимание рыночных и технологических позиций Техника сценариев Объективность в планировании/ревизия плана Панель технологий Организация процесса планирования предприятия Социально-политическая панель консультантов



Рис. 2 – Основные направления эффективности управления [5]

стимулы), благоприятную систему ценностей и рабочую атмосферу на предприятии. Стратегическое управление обеспечивает гибкое приспособление к быстро меняющейся среде [3,4].

Стратегия предприятия определяет ресурсы на 10-15 лет, при этом предприятие преследует две основные цели:

- сохранение стоимости/прирост стоимости на этот период;

- страхование бизнеса/перегруппировка привлекательных сфер предпринимательской деятельности.

При реализации методов стратегического управления выявляются типичные слабые места и наилучшие решения.

Процесс определения целей в стратегическом и организационном плане исходит из функционального разделения предприятия. Базовая модель функциональных ступеней

**Таблица 2 – Финансово-экономические показатели ТОО «ЮгПромСталь» за 2016, 2017, 2018 годы, тыс. тенге**

Показатели	На конец 2016 г.	На конец 2017 г.	На конец 2018 г.
Краткосрочные активы	<b>252328</b>	<b>227742</b>	<b>504879</b>
Долгосрочные активы	<b>136421</b>	<b>133477</b>	<b>107391</b>
Баланс	388750	361219	612270
Обязательства, в т.ч.:	<b>612690</b>	<b>585416</b>	<b>370084</b>
- краткосрочные	155498	21654	295466
- долгосрочные	457193	563762	74618
Капитал	<b>- 223941</b>	<b>- 224197</b>	<b>- 242186</b>
Доход от реализации продукции и оказания услуг	<b>495023</b>	<b>304141</b>	<b>472957</b>
Себестоимость реализованной продукции и оказанных услуг	<b>516392</b>	<b>326223</b>	<b>472644</b>
Валовая прибыль	- 21369	- 22082	313
Прибыль до налогообложения	- 190530	- 256	- 23581
Чистая прибыль	<b>- 190530</b>	<b>- 256</b>	<b>- 23581</b>
Общий совокупный доход	<b>- 190530</b>	<b>- 256</b>	<b>- 23581</b>
ДДС от ОД			
Поступление ДС	626163	530114	1380754
Выбытие ДС	579845	522200	1361397
Чистая сумма ДС от ОД	46318	7914	19357
ДДС от ИД			
Поступление ДС	-	-	700
Чистая сумма ДС	-	-	700
ДДС от ФД			
Поступление ДС	-	-	-
Выбытие ДС	40119	16519	17018
Чистая сумма ДС от ФД	- 40119	- 16519	- 17018
Составлено авторами на основе источников [2,3]			

формирования стоимости включает следующие поддерживающие функции: снабжение и логистика, операции транспорта, хранения, распределения, обслуживания, ремонта (логистика распределения газа, маркетинг и сбыт, обслуживающие хозяйства). Перечисленные функции поддержки распространяются на основные первичные функции: материальное хозяйство предприятия, управление технологией, управление персоналом, инфраструктуру.

Исходя из рисунка, можно выделить основные приоритетные направления, к которым необходимо усилить фокусное внимание: это привлечение ресурсов и система принятия правильных решений. Далее можно наблюдать эффективность управления персоналом, мотивация и делегирование полномочий.

Отсюда вытекает два вида управленческого подхода – объектно-логическое и социально-психологическое. Только гармоничное сочетание объектно-логического и социально-психологического компонентов управления является катализатором и в итоге создаёт полноценный менеджмент, открывая путь к эффективному управлению. Когда факторы экономического и результативного управления сводятся в единую систему, то получается многомерная модель, в которой прослеживается сложное переплетение причинно-следственных связей.

Как видно из таблицы, показатели ТОО «ЮгПромСталь» имеют отрицательную прибыль. Значит надо задуматься об эффективности принятия решений, работы над операцион-

ным и стратегическим планированием, что является катализатором успешной деятельности предприятия. Анализируя данные, можно сделать выводы по эффективному или неэффективному использованию ресурсов, так как затратная часть составляет 80-90% от вырученных денежных средств. Очень важно обратить внимание на производство и реализацию продукции, делать своевременный анализ и оценку, чтобы максимально снижать затратную часть и увеличить прибыль предприятия. Производственное планирование и оценка эффективности деятельности компании относятся к основным процессам, связанным с корпоративными службами финансов планирования. Они имеют определяющее значение в качестве предпосылок рентабельной деятельности компании. При составлении производственных планов и бюджетов устанавливаются важнейшие задачи и показатели эффективности для каждого производственного подразделения на последующие 3 финансовых года, что создает основу для эффективного взаимодействия корпоративного центра и производственных подразделений. Планирование капитальных

вложений позволяет оптимизировать распределение ресурсов и обеспечивает основу для выявления приоритетности инвестиционных проектов. При определении эффективности деятельности компании обеспечивается структурированный метод оценки результатов деятельности производственных подразделений по отношению к планам и сметам, а также отслеживание хода выполнения крупных инвестиционных проектов. Различные процессы планирования, осуществляемые корпоративным центром, отличаются по ряду признаков. Наиболее существенные из них – сроки, масштабы и уровень детализации планирования. В практике планирования западных компаний проводится различие между производственным планированием и планированием поставок продуктов. Содержание и хронология процесса планирования в компании сводятся к следующему:

**1. Анализ экономической среды:**

- прогноз деловой конъюнктуры на предприятиях (рассматриваются 4-5 сценариев);
- сценарии трансформируются в форму, полезную для ведения бизнеса, делается опи-

**Таблица 3 – Характеристика процессов планирования**

Показатель	Стратегическое планирование	Производственное планирование	Финансовое планирование
Период	От 1 до 15 лет	1-3 года	1 год
Цель	Максимизация прибыли в долгосрочной перспективе	Максимизация прибыли в кратко- и среднесрочной перспективе	Перевод стратегической задачи/ производственного плана в финансовые показатели
Содержание	«Общее направление» структура отрасли, поведение фирмы, конкурентные преимущества, общие финансовые цели	«Производственный контракт» ключевые показатели эффективности, операции, потребности в ресурсах, ответственность	«Бюджет», доходы, расходы, инвестиции, поток денежных средств
Конечный результат	Ориентирован на внешние условия. Краток. Содержит преимущественно концепции. Определяет общее направление	Ориентирован на внешние и внутренние условия Детализирован. Содержит количественные показатели и концепции. Точен	Ориентирован на внутренние условия. Высокий уровень детализации Высокая степень ориентации на численные показатели. Высокая степень точности
Форма	Сравнительно не структурирован (ориентирован на внешние события)	Структурирован	Структурирован
Составлено авторами на основе источника [5,6]			

**Таблица 4 – Различия между процессами планирования поставок и производственного планирования**

Показатель	Производственное планирование	Планирование поставок
Период	1-3 года	3 мес.
Периодичность корректировки	Ежеквартально	Ежемесячно
Цель	Максимизировать прибыль в кратко- и среднесрочной перспективе	Максимизировать краткосрочную прибыльность
Содержание	Все ключевые факторы, определяющие эффективность деятельности производственных подразделений. Динамика конкурентного рынка соответствует долгосрочной стратегии компании	Оптимизация логистических потоков. Использование производственного плана в качестве основы для оптимизации
Конечный результат	Производственный контракт как основа оценки эффективности. Исходная информация для долгосрочного финансового и производственного прогнозирования	Конкретизация производственных показателей для каждого производственного подразделения
Составлено авторами на основе источника [5,6]		

сание сценариев, которые связаны с рисками, обусловленными ситуацией в отрасли;

- рассматриваемый уровень: отрасль-предприятие;
- более краткосрочные прогнозы для оперативных планов/бюджета составляются на уровне корпоративного планирования с использованием входной информации по каждой группе предприятий.

## 2. Рассмотрение стратегии бизнеса

Оно включает анализ сценариев развития, характеристику стратегий и изучение стоимостных параметров. Характеристика стратегий охватывает широкий круг вопросов, среди которых важнейшими являются:

- качественное рассмотрение деловой стратегии, базирующееся на характеристиках отрасли, основных показателях успешности, конкурентном положении компании, целях и задачах компании, стратегическом выборе компании, ожидаемых результатах;
- сопоставление с показателями исходного уровня;
- приближенный прогноз денежных поступлений и выплат - учет лишь важнейших факторов;
- демонстрация того, что сохранение бизнеса целесообразнее, чем продажа активов или ликвидация компании;

– оценка реалистичности плана и его предпринимательского характера, выявление основных факторов риска;

- пересмотр стратегий проводится в III квартале планового года.

Очень важно, подобрать правильные инструменты планирования финансового, производственного и стратегического, так как грамотно выстроенная политика планирования будет являться катализатором успешного развития предприятия. Краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные планы с учетом приоритетных трендов в национальной экономике позволят гибко адаптироваться в сложных конкурентных условиях и сохранить некоторую стабильность на рынке товаров и услуг.

## Заключение

Оценка эффективности управления осуществляется по множеству параметров. Для разных предприятий этот набор параметров почти не изменяется, но сами параметры имеют различную приоритетность для каждого предприятия. По принципу Парето 80% усилий и внимания нужно уделять 20% основных подсистем, функций, бизнес-процессов, которые в наибольшей степени влияют на результаты деятельности. Задача заключается в том, как определить эти самые важные 20% и сконцен-

трировать на них усилия. Нет единого непереложного стандарта, по которому любая организация может получить рейтинг эффективности управления своим предприятием. Можно с уве-

ренностью сказать лишь о том, что управление должно быть настолько эффективным, чтобы предприятие достигало поставленных целей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт ТОО «ЮгПромСталь».
2. Годовой отчет ТОО «ЮгПромСталь», 2016-2017-2018 гг.
3. Стратегический план развития ТОО «ЮгПромСталь», 2017.
4. Румянцева З.П. Общее управление организацией. Теория и практика: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2014;
5. Бовыкин В.И. Новый менеджмент. Учебник. – М.: «Экономика», 2013.
6. <http://www.management.com.ua/qm/qm142.html>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. **Абиров Р.** магистр, сеньор-лектор, АО «КБТУ»
2. **Айдашева Г.А.** докторант, Институт механики и машиноведения
3. **Акбасова А.Д.** д.т.н., профессор, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмета Ясави
4. **Ақназар У.** магистрант, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
5. **Аманжолова Ш.А.** к.ф.-м.н., Казахская Национальная консерватория им. Курмангазы
6. **Аманов Б.О.** докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
7. **Амренова А.У.** к.ф.-м.н., ст.преп., Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
8. **Артыкбаев Д.Ж.** докторант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова
9. **Аубакиров Е.А.** д.х.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
10. **Ауэзова А.М.** доцент, Алматинский университет энергетики и связи
11. **Ахмедиярова А.Т.** PhD, ГНС, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
12. **Байбазарова Э.А.** магистр, ст.преп., Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
13. **Байболов К.С.** к.т.н., доцент, Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова
14. **Байгунчеков Ж.Ж.** академик НАН РК, д.т.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
15. **Байхамурова М.О.** Phd докторант, Казахский Национальный аграрный университет
16. **Баширбаева Р.С.** PhD докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
17. **Бекжанов М.А.** генеральный директор, ТОО «СКЗ-У», Кызылорда
18. **Бижанова С.Б.** докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
19. **Бисенбаева Д.** магистрант, Алматы Менеджмент Университет
20. **Болатбек С.Б.** магистр, Алматинский университет энергетики и связи
21. **Габдуллина А.Т.** к.ф.-м.н., ст.преп., Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
22. **Дарменбаева А.С.** PhD доктор, ст.преп., Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
23. **Джамалов Н.К.** к.т.н., и.о.доцента, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
24. **Еремин Н.А.** д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина
25. **Жукешов А.М.** д.ф.-м.н., доцент, ГНС, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

26. **Ибраев А.С.** докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
27. **Ибраев С.М.** д.т.н., профессор, зам.руководителя, Институт механики и машиноведения
28. **Ивахненко А.П.** PhD, профессор, АО «КБТУ»
29. **Кадирова Ж.Б.** докторант, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
30. **Кайыров Р.А.** докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
31. **Касинов А.Н.** докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
32. **Керімбеков Е.Р.** PhD, ст.преп., Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави
33. **Колесникова И.В.** д.т.н., профессор, Казахская головная архитектурно-строительная академия
34. **Кулбаева Д.А.** магистр, ст.преп., Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
35. **Кыдырбекова А.С.** Институт информационных и вычислительных технологий
36. **Құлажанова А.С.** ст.преп., Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
37. **Курманходжаев Д.** докторант, АО «КБТУ»
38. **Мамырбаев О.Ж.** PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
39. **Марлен Д.** магистрант, Казахская головная архитектурно-строительная академия
40. **Масалимова Б.Қ.** к.х.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
41. **Масимканова Ж.А.** докторант PhD, МНС, Институт информационных и вычислительных технологий
42. **Мекебаев Н.О.** докторант, НС, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
43. **Меркибаева Б.М.** магистр, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
44. **Минглибаев М.Д.** д.ф.-м.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
45. **Монголхан Р.** магистрант, Павлодарский государственный педагогический университет
46. **Мустафа А.Қ.** докторант, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
47. **Мухамбеткалиева Г.М.** магистрант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
48. **Мухамедрысқызы М.** докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
49. **Наурузбеков Ж.К.** магистрант, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
50. **Нурлыбаева А.Н.** PhD, д.х.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

51. **Нурлыбаева Э.Н.** доктор PhD, доцент, Казахская Национальная академия искусств им. Т.К. Жургенова
52. **Ордабаев А.А.** магистрант, Алматы Менеджмент Университет
53. **Орынбеков Е.С.** к.т.н., ассоц.профессор, Казахская головная архитектурно-строительная академия
54. **Расулов Х.З.** д.т.н., профессор, Ташкентский архитектурно-строительный институт
55. **Рахмет Н.Б.** магистрант, Казахская головная архитектурно-строительная академия
56. **Рисбаева Г.Б.** магистрант, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
57. **Сағындық У.** студент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
58. **Садиева Х.Р.** к.т.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
59. **Саинова Г.А.** д.т.н., профессор, ГНС, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмета Ясави
60. **Самигулина Г.А.** д.т.н., доцент, АО «КБТУ», Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
61. **Сапарбаев К.А.** менеджер, ТОО «СКЗ-У», Кызылорда
62. **Саргаев Д.Т.** к.т.н., ассоц.профессор, Казахская головная архитектурно-строительная академия
63. **Сейіткамал Е.С.** магистрант, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави
64. **Сейтбекова Г.А.** к.т.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
65. **Тайкулова Г.С.** к.э.н., доцент, Алматы Менеджмент Университет
66. **Ташенова Ж.М.** PhD, доцент, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
67. **Токтасынов С.К.** НС, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
68. **Төлеби Г.** докторант, АО «КБТУ»
69. **Тоштай К.** PhD доктор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
70. **Тукешова Г.А.** докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
71. **Тургунбоев Д.А.** магистрант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
72. **Тұрдалықызы Т.** инженер-программист, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
73. **Тұрдалыұлы М.** докторант, НС, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
74. **Шаяхметова А.С.** руководитель проекта, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК

ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
**ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD**  
OF THE KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

**ВЕСТНИК**  
КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ответственный за выпуск	Есбергенов Досым Бектенович
Редакторы	Далабаева Айсара Касымбековна Садганова Эльмира Абуовна
Компьютерный дизайн	Жамиев Муслим Файзахметович
Компьютерная верстка	Ескали Гульсим Багдатовна

Редакция журнала «Вестник КБТУ» не несет ответственность за содержание публикуемых статей. Содержания статей целиком принадлежат авторам, и размещаются в журнале исключительно под их ответственность.

Подписано в печать 21.06.2019 г.  
Тираж 300 экз. Формат 60x84 1/16. Бумага тип.  
Уч.-изд.л. 12,3. Заказ №132.

Издание Казахстанско-Британского технического университета  
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59