

ISSN (Print) 2616-7263  
ISSN (Online) 2663-1261

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

**ХАБАРШЫСЫ**

**BULLETIN**

of L.N. Gumilyov  
Eurasian National University

**ВЕСТНИК**

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы**

**TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series**

**Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**  
**№ 4(137)/2021**

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2021

Nur-Sultan, 2021

Нур-Султан, 2021

Бас редакторы **Мерзадинова Г.Т.**  
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
Бас редактордың орынбасары **Жусупбеков А.Ж.**  
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
Бас редактордың орынбасары **Тогизбаева Б.Б.**  
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
Бас редактордың орынбасары **Сарсембаев Б.К.**  
т.ғ.к., доцент, Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

#### **Редакция алқасы**

<b>Акира Хасегава</b>	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
<b>Акиитоши Мочизуки</b>	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
<b>Базарбаев Д.О.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Байдабеков А.К.</b>	т.ғ.д. проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Дер Вэн Чанг</b>	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
<b>Жумагулов М.Г.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Закирова А.Б.</b>	п.ғ.к. (комп. ғылымдар), доцент, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Йошинори Ивасаки</b>	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
<b>Калякин В.Н.</b>	проф., Делавэр Университеті, Ньюарк, АҚШ
<b>Куц С.</b>	проф., Краков технологиялық университеті, Краков, Польша
<b>Сахапов Р.Л.</b>	проф., Қазан мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Қазан, Ресей
<b>Тадатсугу Танака</b>	проф., Токио Университеті, Токио, Жапония
<b>Түлебекова А.С.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Хое Линг</b>	проф., Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
<b>Утепов Е.Б.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Чекаева Р.У.</b>	а.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Шахмов Ж.А</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Юн Чул Шин</b>	проф., Инчон ұлттық университеті, Инчон, Оңтүстік Корея

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.  
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-410). E-mail: [vest\\_techsci@enu.kz](mailto:vest_techsci@enu.kz)

*Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Бекбаева*

**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.**

**ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы**

Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

19.04.2021ж. № KZ31VPY00034682 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-410). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

*Editor-in-Chief* **Gulnara Merzadinova**  
*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*  
*Deputy Editor-in-Chief* **Askar Zhussupbekov**  
*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*  
*Deputy Editor-in-Chief* **Baglan Togizbayeva**  
*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*  
*Deputy Editor-in-Chief* **Bayandy Sarsembayev**  
*Assoc. Prof., Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

***Editorial board***

<b>Akira Hasegwa</b>	Prof., Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe, Japan
<b>Akitoshi Mochizuki</b>	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
<b>Daniyar Bazarbayeva</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Auez Baydabekov</b>	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Der Wen Chang</b>	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
<b>Mihail Zhumagulov</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Alma Zakirova</b>	Assoc. Prof. (comp. sci.), L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Yoshinori Iwasaki</b>	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
<b>Viktor Kalakin</b>	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
<b>Sabina Kuc</b>	Prof., Cracow University of Technology, Cracow, Poland
<b>Rustem Sakhapov</b>	Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
<b>Tadatsugu Tanaka</b>	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
<b>Tulebekova Assel</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Hoe Ling</b>	Prof., Columbia University, New York, USA
<b>Yelbek Uteпов</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Rahima Chekaeva</b>	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Zhanbolat Shakhmov</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Eun Chul Shin</b>	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Nur-Sultan, Kazakhstan, 010008

Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-410), E-mail: [vest\\_techsci@enu.kz](mailto:vest_techsci@enu.kz)

*Responsible secretary, computer layout:* Aliya Bekbayeva

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series**

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ31VPY00034682 from 19.04.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National  
University, Nur-Sultan, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-410). Website: [http:// bultech.enu.kz](http://bultech.enu.kz)

Главный редактор **Мерзалинова Г.Т.**  
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Зам. главного редактора **Жусупбеков А.Ж.**  
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Зам. главного редактора **Тогизбаева Б.Б.**  
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Зам. главного редактора **Сарсембаев Б.К.**  
д.т.н., проф., Назарбаев университет, Нур-Султан, Казахстан

#### **Редакционная коллегия**

<b>Акира Хасегава</b>	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
<b>Акитоши Мочизуки</b>	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
<b>Базарбаев Д.О.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Байдабеков А.К.</b>	д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Дер Вэн Чанг</b>	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
<b>Жумагулов М.Г.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Закирова А.Б.</b>	к.п.н. (комп. науки), доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Йошинори Ивасаки</b>	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
<b>Калякин В.Н.</b>	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
<b>Куц С.</b>	проф., Краковский технологический университет, Краков, Польша
<b>Сахапов Р.Л.</b>	проф., Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия
<b>Тадатсугу Танака</b>	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
<b>Тулбекова А.С.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Хое Линг</b>	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
<b>Утепов Е.Б.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Чекаева Р.У.</b>	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Шахмов Ж.А</b>	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Юн Чул Шин</b>	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402  
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-410). E-mail: [vest\\_techsci@enu.kz](mailto:vest_techsci@enu.kz)

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Бекбаева

**Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.**

**Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на переучет № KZ31VPY00034682 от 19.04.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажымукана, 13/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-410). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

- А. Анискин* Бетонның жетілу сенсорының корпусын жасау және сынау  
*A. Aniskin* Development and testing of the concrete maturity sensor housing 7  
*А. Анискин* Разработка и тестирование корпуса датчика зрелости бетона
- А.С. Кадыров, А.А. Ганюков, Б.К. Сарсембеков, Ж. Ж. Жунусбекова, К.А. Синельников* Іштен жану қозғалтқышының пайдаланылған газын ультрадыбыстық тазарту процесін зерттеу  
*A.S. Kadyrov, A.A. Ganyukov, B.K. Sarsembekov, Zh.Zh. Zhunusbekova, K.A. Sinelnikov* Investigation of the process of ultrasonic cleaning of exhaust gases from an internal combustion engine  
*А.С. Кадыров, А.А. Ганюков, Б.К. Сарсембеков, Ж. Ж. Жунусбекова, К.А. Синельников* Исследование процесса ультразвуковой очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания 18
- Г.Б.Толегенова, В.А.Жмудь, А.Б.Закирова, М.Н.Калимолдаев* Ақылды желілер технологиясы. Электр желілерінің дамуы  
*G.B.Tolegenova, V.A.Zhmud, A.B.Zakirova, M.N.Kalimoldayev* Smart Grid technology. Prospects for the development of electric networks  
*Г.Б.Толегенова, В.А.Жмудь, А.Б.Закирова, М.Н.Калимолдаев* Технология умных сетей. Перспективы развития электрических сетей 29
- А.Д. Адамова, Т.К. Жукабаева, Ху Вен-Цен* Пәнді оқыту барысында білім алушылардың оқу-танымдық қызметін жандандыру үшін толықтырылған нақтылық және оқытуды геймификациялау технологияларын пайдалана отырып, цифрлық білім беру платформасын әзірлеу  
*A.D. Adamova, T.K. Zhukabayeva, Khu Ven-Tsen* Development of a digital educational platform using augmented reality and gamification technologies to intensify learning and cognitive activities of students in the course of studying the subject  
*А.Д. Адамова, Т.К. Жукабаева, Ху Вен-Цен* Разработка цифровой образовательной платформы с использованием технологий дополненной реальности и геймификации обучения для активизации учебно-познавательной деятельности обучающихся в процессе изучения предмета 39
- Д. К. Асмагамбет, Г. С. Жетесова, К. М. Бейсембаев, Н. С. Малыбаев* Айналмалы конвейердің топсалы жүйесін әзірлеу  
*D.K. Asmagambet, G.S. Zhetesova, K.M. Beisembaev, N.S. Malybaev* Development of the pivoting system of the turning conveyor  
*Д.К. Асмагамбет, Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, Н.С. Малыбаев* Разработка шарнирной системы поворотного конвейера 48
- Р.В. Рахимов* Электр станциясының ток шектеуші реакторларын салу кезінде бетонның ылғалға төзімді қасиеттерінің маңыздылығы мәселесіне  
*R.V. Rakhimov* On the importance of moisture-resistant properties of concrete in the construction of current-limiting reactors of a substation  
*Р.В. Рахимов* К вопросу значимости влагостойких свойств бетона при строительстве токоограничивающих реакторов подстанции 58

- Ж.Б. Ахаева, Г.Т. Мерзудинова, В.А.Жмудь, А.Б.Закирова, Т.К.Жукабаева* Ақылды қаланың интеллектуалды көлік жүйесі моделіндегі үлкен деректерді өңдеу процесі  
*Zh.B. Akhayeua, G.T. Merzadinova, V.A.Zhmud, A.B.Zakirova, T.K.Zhukabaeva* The process of processing Big data in the model of an intelligent transport system of a Smart city
- Ж.Б. Ахаева, Г.Т. Мерзудинова, В.А.Жмудь, А.Б.Закирова, Т.К.Жукабаева* Процесс обработки больших данных в модели интеллектуальной транспортной системы «умного города» 64
- А.С. Монтаева, А.Ж. Жусупбеков* Қыста қадаларды орнату үшін топырақ қатуының алдын-алу әдісі  
*A. Montayeva, A. Zhussupbekov* Prevention method of soil freezing during pile driving in winter
- А.С. Монтаева, А.Ж. Жусупбеков* Способ предотвращения промерзания грунта в местах забивки свай 76
- Ж.К. Абдуғулова, А.М. Акбаракова* Киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылым объектілерінің жұмыс істеу сенімділігін қамтамасыз етуді модельдеу  
*Zh.K. Abdugulova, A.M. Akbarakova* Modelization of reliability of functions of the network infrastructures of the cyberphysical systems
- Ж.К. Абдуғулова, А.М. Акбаракова* Моделирование обеспечения надежности функционирования объектов сетевой инфраструктуры киберфизической системы 88

## Development and testing of the concrete maturity sensor housing

**Abstract.** The two types of custom housings for the maturity sensor made of two-component plastic were proposed and subjected to durability testing in this study. The first rectangular housing was made of two parts connected by 6 screws and waterproofed with rubber. The second housing was made keg-shaped with a cylindrical keg and screw-on cap. The housings were tested for water resistance, integrity when dropped, and load resistance on three sides using an electromechanical press-machine. At compression tests, both housings demonstrated fairly acceptable resistances, ranging from 0.6 to 2.11 kPa. If referring to the weight applied, it may be supposed that the housings may bear from 65.3 to 165.3 kg depending on the sides, on which the loads are applied. The integrity tests did not cause notable damage on both types of housings, while the water-resistance test revealed the weakness of rectangular housing that failed the test at 3 days of submerging. Comparatively, the cylindrical housing turned out to be more reliable, since its average resistance deviation on all sides appeared to be twice less than those in rectangular one. Moreover, the keg-shaped housing turned out to be waterproof, less material, and labor-intensive.

**Keywords:** non-destructive testing, maturity sensor, housing, durability, plastic.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-7-17](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-7-17)

### Introduction

The hardware and software products bring advanced smart testing technologies and real-time data collection to the forefront of every job site, driving innovation throughout concrete's lifecycle [1]. Monitoring of the internal processes occurring in the concrete body during the hardening helps to make timely decisions to reduce equipment and formwork rental time, as well as labor costs [2-3].

Electronic devices are subjected to various mechanical effects in the process of operation. Therefore, special attention is focused on its mechanical properties. The mechanical properties of the device include tensile properties, compression properties, flexural properties, static and dynamic friction coefficients, etc. The mechanical properties also have an impact on the areas in which they can be used. For example, iButtonLink Technology, the developer of the iButton sensor, has taken a big step forward by teaming up with Rhodium Scientific. Industrial temperature sensor - iButton was sent into space for high-precision research, where it will measure and transmit temperature information. Another benefit, the implementation of wireless sensors by Giatec's 2020 report, was the ability to quickly collect, analyze and share important data without having to be in close contact with other workers on the construction site. Particularly noted is the use of the sensor as a signal, which gives confidence in the absence of power failures, turning off heaters, or the other way left on. The worldwide practice of using sensors has shown their superiority [4–6]. One of the common key points for expanding the usage areas of electronic devices is the suitability of its enclosure for the external influences it is being subjected to. Therefore, a great deal of attention must be paid to the design of the housing. Developers of electronic equipment are used to designing the enclosure after the completion of the internal part, which is a serious mistake [7]. Firstly, it does not allow selecting an efficient and cheap solution, due to which the dimensions grow, ergonomics, and appearance of the device are reduced. Secondly, in the case of consecutive development of the electronic stuffing and the housing, the launch of the device in serial production can start much later than in the process of parallel development, since there are risks of non-compliance of the housing with the exploitation conditions.



Maturity sensors are becoming widely used nowadays, surpassing traditional techniques in many aspects and enabling real-time monitoring of concrete strength and curing temperature. Embedded into the concrete body, these sensors must have durable and waterproof housing. The current study is aimed at durability testing of the housing for the modernized version of the maturity sensor previously developed by [8]. Along with the data collection station, and the server software, the new version of the maturity sensor represents an integral component of a measuring complex BDM-1. To date, BDM-1 has become the first Kazakhstani product that allows real-time monitoring of the concrete curing temperature and the strength wirelessly. Since the maturity sensors are embedded into the concrete body and subjected to mechanical impacts when the concrete is poured, their internal electronic components must be securely protected with robust housing and waterproofed according to IP68 international standard [9]. To follow such requirements, the housing design was constructed in two configurations (by shape). The next chapter describes the development and experimental procedures performed.

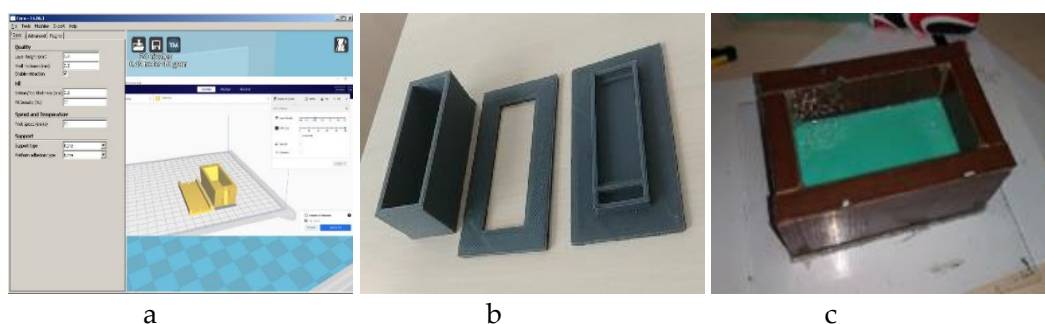
### Materials and methods

As mentioned, the maturity sensor housings were built in two configurations: 1) Two parts rectangular; 2) Keg-shaped cylindrical. Two-component liquid plastic from the company Kimpur - Kimteks Kimya Tekstil Ürünleri ve Ticaret A.Ş. formed the basis of the housings. Both components are manufactured in Turkey and are available in packs ranging from 2 to 200 kg. This type of plastic is characterized by its hardness, resistance to mechanical influences, and short setting time. The components of this plastic are mixed in a 1:1 ratio by weight [10].

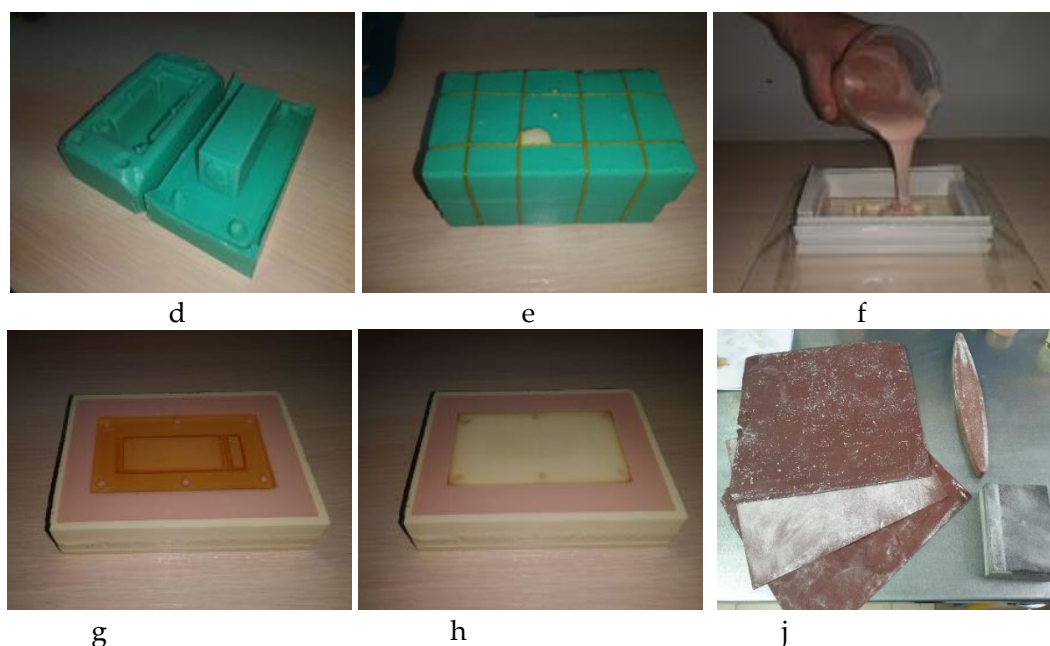
The maturity sensor housing was initially designed as a combined (upper and lower parts) rectangular housing with 6 screw connections and rubber for waterproofing.

Each part of the housing went through several iterations of molding the silicone formwork, pouring the liquid plastic, and polishing. The formworks were made of the two-component silicone HY-520 produced by the Shenzhen Hong Ye Jie Technology Co. [11], in the ratio by weight of the hardener and silicone of 1:40. Both components are manufactured in China and are available in packs ranging from 1 to 5 kg. To mold the silicone formwork, there were used handy tools and materials.

The poured molds were kept at a room temperature of 20°C and 95% humidity. Every iteration took 1 day till the formwork was ready for the liquid plastic pouring. The setting time of the plastic was around 30 min, after which the housing was polished with abrasive paper. As a result, the master model of the housing was obtained and used to mold a master formwork made of silicone. The final formwork was then used to replicate the housings (Figure 1).

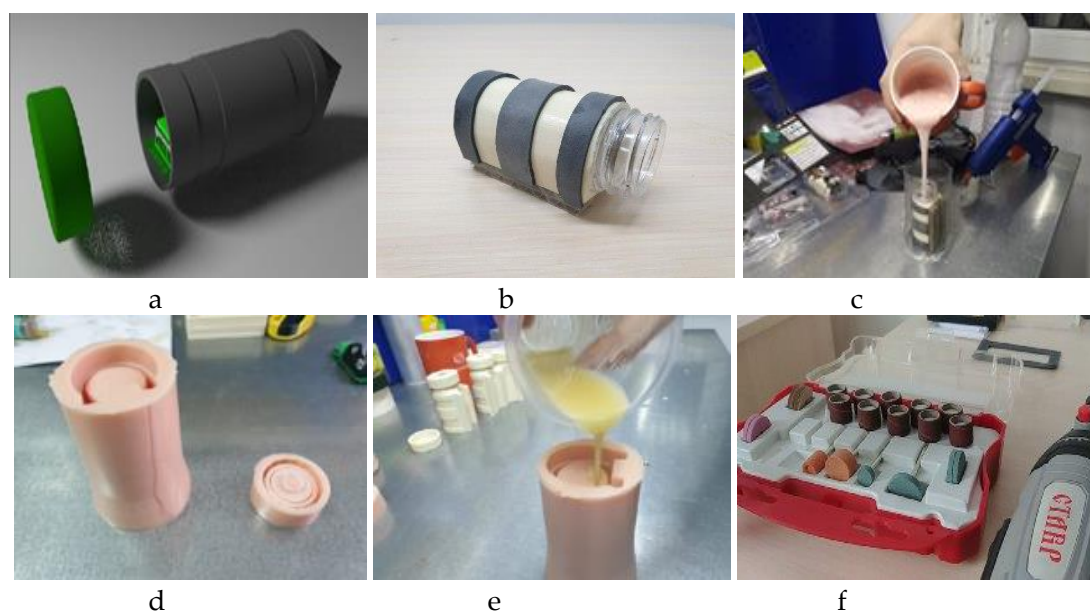






**Figure 1. Design and fabrication of a silicone mold for a rectangular housing: a) 3D design; b) prototypes; c) the pouring of silicon for upper part master-form; d) prepared silicone mold; e) cured upper part in the silicon master-form; f) the pouring of silicon for lower part master-form; g) the curing process of plastic in a silicone mold; h) cured lower part in the silicon master-form; j) polishing tools**

Since the rectangular housing design was characterized by various elements (metal screws, washers, nuts, and a rubber gasket), its assembly turned out to be complicated. Therefore, the cylindrical housing was based on the screw-cap keg concept. This type of housing was developed to simplify the design and thereby make it cheaper. The cylindrical housing passed through similar stages as the rectangular one (Figure 2).



**Figure 2. Design and fabrication of a silicone mold for the cylindrical housing: a) 3D design; b) prototype; c) the pouring of silicon for master-form; d) prepared silicone master-form; e) pouring of plastic; f) polishing tools**

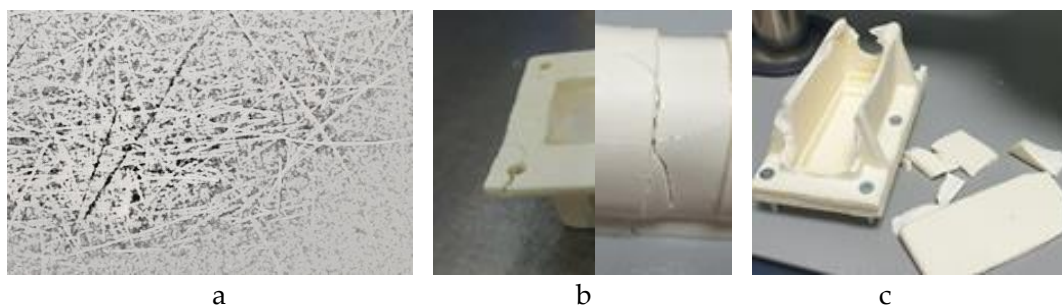
To argue the durability of the housings, the experimental procedures included the testing of their waterproofness, integrity, and load resistance.

To test for water resistance, both types of housings were sealed with tissue paper inside and prepared for complete submerging in a tank of water, where they had to remain for 1 month. The tissue paper was planned to be used as an indicator of waterproofness. To prevent them from floating to the surface, they were loaded with weights (Figure 3).



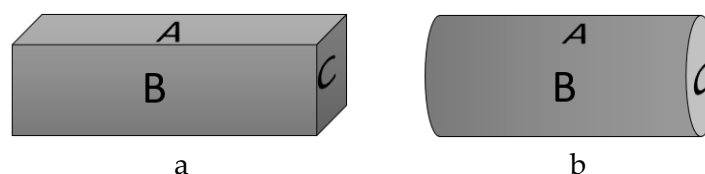
**Figure 3. Water resistance tests: a) rectangular housing; b) cylindrical housing**

The integrity of the housings is tested by a procedure of free-fall from the different heights (1, 1.5 and 2 m) according to [12]. Three samples of each type of housings were used for testing. Due to the complexity of the technical evaluation after dropping, a visual determination of the samples condition was performed according to the [13] principle. For further classification of the tested samples figure 4 presents the examples of possible breach of integrity (visual indicators).



**Figure 4. Visual indicators of housings integrity: a) scratches; b) cracks; c) spalls**

Load resistance determination of the maturity sensor housings structure was carried out on an electromechanical press-machine UNIFRAME 70-T1182 with a load range up to 50 kN and displacement speed ranging from 0.05 to 51 mm/min [14]. The loads on the sides of the housings during the test are conventionally marked by capital letters (Figure 5).



**Figure 5. Compression load sides: a) rectangular housing; b) cylindrical housing**

Three rectangular (Figure 6) and three cylindrical (Figure 7) housing samples were destroyed during the compression tests. The different nozzle area of the press piston was taken into account in the compression results.

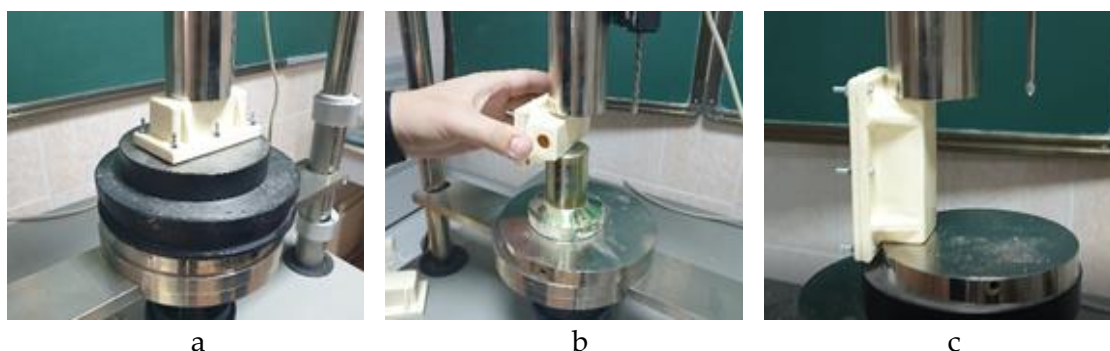


Figure 6. Rectangular housing compression test: a) side A; b) side B; c) side C

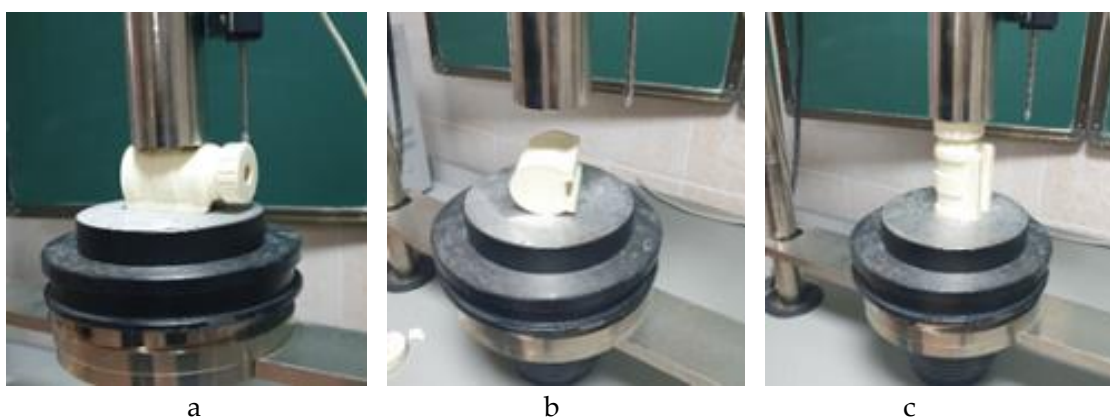


Figure 7. Cylindrical housing compression test: a) side A; b) side B; c) side C

### Results and Discussion

The housing water-resistance and integrity tests were evaluated visually. The water-resistance test revealed the weakness of rectangular housing that failed the test at 3 days of submerging, which was confirmed by the blotting of the tissue paper. Meanwhile, the cylindrical housing remained in the tank of water for 1 month, turned out to be completely waterproof, since the tissue paper after the inspection still remained dry (Figure 8).

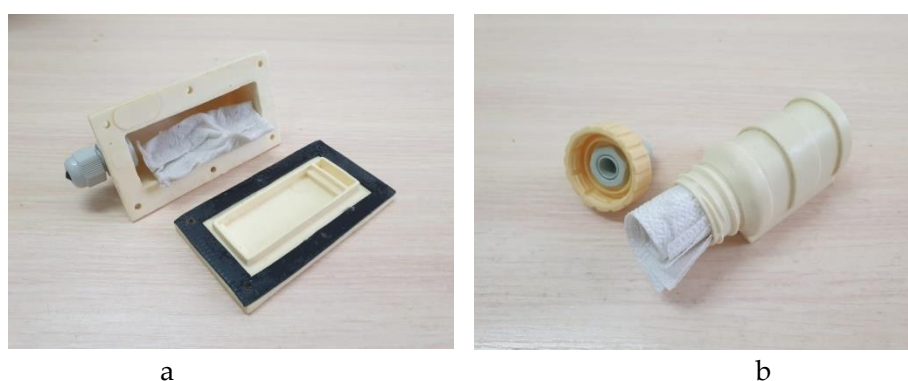


Figure 8. Water-resistance test results: a) wet tissue paper in the rectangular housing; b) dry tissue paper in the cylindrical housing

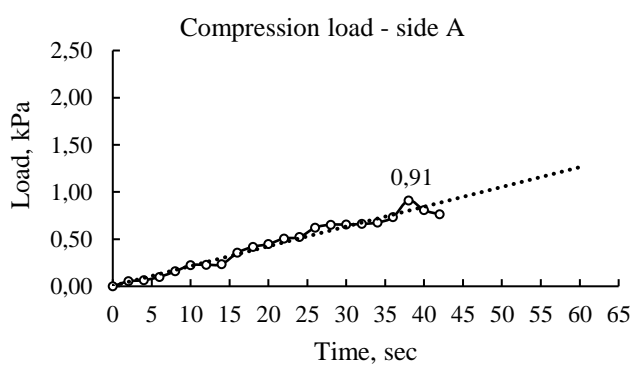
The integrity tests did not cause notable damage on both types of housings as shown in Table 1. There were minor scratches on the surface of both cases, as well as a single crack after the fall of the sample No. 2 of rectangular housing at a height of 2 m. The rectangular housing was cracked at the screw connection part, which may be reasoned by the fact that the screw holes are located close to the edge of the housing.

Table 1

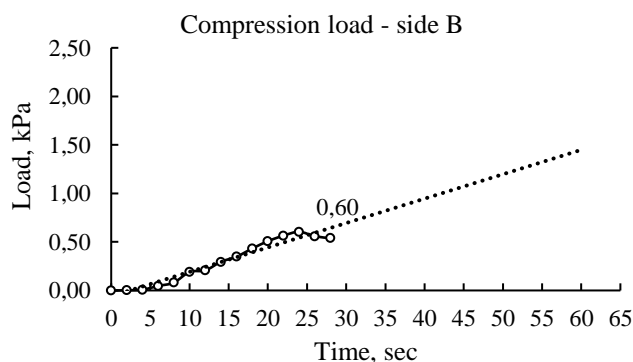
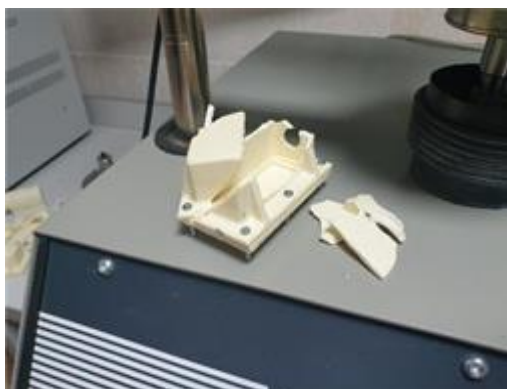
Integrity test results of housings

Sample No.	Height, m	Visual indicators of housings integrity					
		Rectangular			Cylindrical		
		Scratches	Cracks	Spalls	Scratches	Cracks	Spalls
1	1						
	1.5	✓					
	2	✓			✓		
2	1						
	1.5	✓					
	2	✓	✓		✓		
3	1						
	1.5	✓					
	2	✓			✓		

The results of the housings compression tests are demonstrated below. The diagrams show the maximum uniaxial compression load in kPa for each side of the housings (Figures 9 and 10). It is worth noting that the load was performed with the same displacement speed and time.

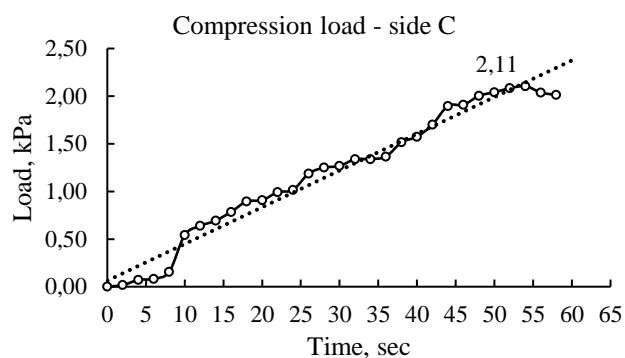


a



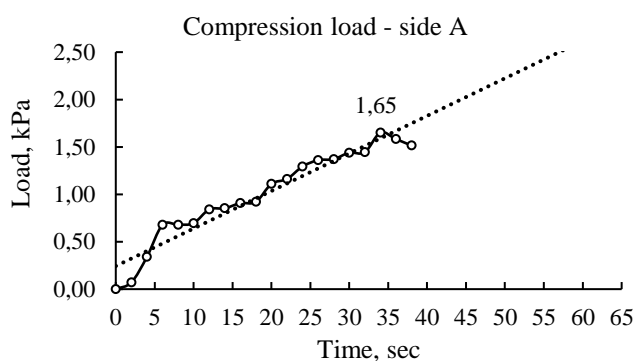
b



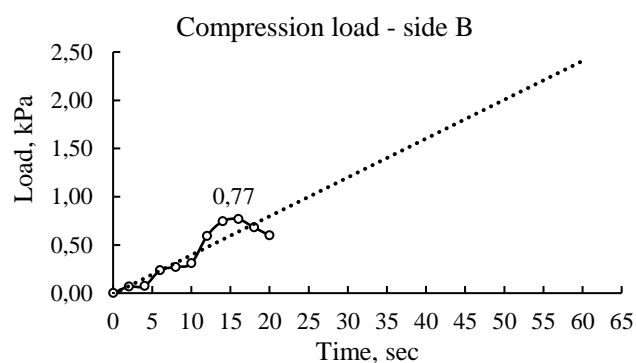


c

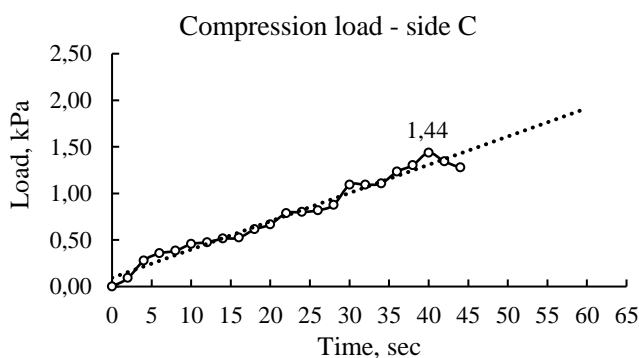
Figure 9. Compression load diagram of the rectangular housing: a) side A; b) side B; c) side C



a



b



c

Figure 10. Compression load diagram of the cylindrical housing: a) side A; b) side B; c) side C

According to the results of tests of rectangular and cylindrical-shaped housings, the B-side of both types of housings turned out to be the most sensitive to the loads. Whereas the C-side of the rectangular and the A-side of the cylindrical housings withstood the maximum loads. Thus, the sides of the housing when ranked by bearing load may be given the following comparison:  $B < A < C$  for the rectangular shape,  $B < C < A$  for the cylindrical shape.

To sum up, both housings demonstrated fairly acceptable durability. However, the cylindrical housing turned out to be more reliable since its average resistance deviation on three sides deviate from the average resistance to 26%, as opposed to rectangular housings of 49% (the difference is almost twice). Moreover, the keg-shaped housing turned out to be 100% waterproof according to the test results, less cost and labor-intensive due to the exclusion of screw connections and rubber for waterproofing.

### Conclusion

A review of existing modeling techniques, pouring methods, and housing materials were performed. Two varieties of maturity sensor housings by shape were manufactured – the rectangular and cylindrical one. Both types of housing were tested in the laboratory for waterproofness, integrity after falling from a height, and compression load from three sides.

According to the test results, the cylindrical housing appeared to be more reliable than those of rectangular one in several parameters. Moreover, the cylindrical design is more efficient in terms of material and resource consumption in contrast with the rectangular design.

As a result of the process of creating a housing for an electronic device, the following can be highlighted:

- the shape of the housing plays an important role in the development of an electronic device;
- the monolithic design and the small number of parts in the assembly gives more robustness;
- the specifications and operational requirements of the device have a direct impact on the cost of the product;
- the significant part of the production cost lays on the expenses for the development, testing, and serial production of the housings.

The new version of the maturity sensor was represented in the construction market of Kazakhstan. The formation of the local manufacturer along with foreign analogs is focused on the development of the domestic market of instrumentation. The use and implementation of the foreign standard and method of concrete strength control in Kazakhstan is an additional contribution of the research. Laboratory tests confirmed the requirements for the operation of the BDM-1 measuring complex components.

### Acknowledgments

This study was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant № AP08052033).

### References

1. Giatec. Wireless SmartRock™ Concrete Sensors Keep Construction Workers Safe During Pandemic [Electronic resource] / Giatec // CISION PR Newswire. — [2021]. — Mode of access: <https://www.prnewswire.com/news-releases/wireless-smartrock-concrete-sensors-keep-construction-workers-safe-during-pandemic-301189123.html> (accessed date: 13.09.2021).
2. Масаев, Ю.А. Бетон в строительстве - с древнейших времен до наших дней [Текст] / Ю.А. Масаев, А.П. Политов, В.Ю. Масаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — Т. 121, № 3. — С. 207–213.

3. Building Materials in Civil Engineering [Text] / H. ZhangWoodhead Publishing, — 2011. — 441 p.
4. Giatec. Roxi™ Wins IEEE's Outstanding Clean Technology Award | Giatec [Electronic resource] / Giatec // Giatec Scientific Inc. - [2021]. - Mode of access: <https://www.giatecscientific.com/company-news/giatecs-roxi-ai-program-wins-ieee-outstanding-clean-technology-award/> (accessed date: 13.09.2021).
5. Olson, C. iButtonLink Sensors Complete Space Mission [Электронный ресурс] / C. Olson // iButtonLink Technology. - [2021]. - Режим доступа: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0164/3524/files/iButtonLink\\_-\\_Rhodium\\_-\\_NASA\\_NG\\_14\\_return\\_release\\_FINAL\\_2-1-21.pdf?v=1612226930](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0164/3524/files/iButtonLink_-_Rhodium_-_NASA_NG_14_return_release_FINAL_2-1-21.pdf?v=1612226930) (дата обращения: 13.09.2021).
6. ChipSelect. Этапы разработки электроники [Электронный ресурс] / ChipSelect // ChipSelect Technology. - [2021]. - Режим доступа: <http://www.chipselect.ru/produkcija/razrabotka-ehlektroniki> (дата обращения: 13.09.2021).
7. Uteпов, Ye.B. Prototyping an embedded wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures [Text] / Ye.B. Uteпов, O.A. Khudaibergenov, Ye.B. Kabdush, A.B. Kazkeev // Computers and Concrete. - 2019. - Vol. 24, No. 2. - P. 95–102. DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/cac.2019.24.2.095>.
8. Uteпов, Ye.B. Maturity sensors placement based on the temperature transitional boundaries [Text] / Ye.B. Uteпов, A. Aniskin, A.P. Ibrashov, A.S. Tulebekova // Magazine of Civil Engineering. — Vol. 90, No. 6. - P. 93–103. DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.90.9>
9. GWPGroup. IP ratings explained: ingress protection and what it means for cases [Electronic resource] / GWPGroup // GWP Group. - [2016]. - Mode of access: <https://www.gwp.co.uk/guides/ip-ratings-explained/> (accessed date: 13.09.2021).
10. Kimteks. Kimteks - Kimya Tekstil Ürünleri Tic. A.Ş. [Electronic resource] / Kimteks // Kimteks. - [2021]. - Mode of access: <https://www.kimteks.com.tr/en/> (accessed date: 13.09.2021).
11. Silicone Rubber for Rapid Prototyping [Electronic resource] // SHENZHEN HONG YE JIE TECHNOLOGY Co.,Ltd. - [2021]. - Mode of access: [http://www.szrl.net/a/Products/Molding\\_Silicone\\_Rubber/Silicone\\_for\\_Prototyping/2021/0419/1742.htm](http://www.szrl.net/a/Products/Molding_Silicone_Rubber/Silicone_for_Prototyping/2021/0419/1742.htm) (accessed date: 13.09.2021).
12. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. — 2013.
13. Martínez, S.S. Quality inspection of machined metal parts using an image fusion technique [Text] / S.S. Martínez, C.O. Vázquez, J.G. García, J.G. Ortega // Measurements. — 2017. — Vol. 111. — P. 374–383. DOI: [10.1016/j.measurement.2017.08.002](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.002).
14. UNIFRAME. Испытательный электромеханический пресс [Электронный ресурс] — 2021. Режим доступа: <http://bavcompany.ru/catalog/lab/asfaltoanalizatory/uniframe-50-kn/> (дата обращения: 13.09.2021).

**А. АНИСКИН**

*Солтүстік университеті, Вараждин, Хорватия*

### **Бетонның жетілу сенсорының корпусын жасау және сынау**

**Аңдатпа.** Мақалада екі компонентті пластиктен жасалған, беріктікке сыналған жетілу сенсорына арналған корпустың екі түрін ұсынды. Бірінші тікбұрышты корпус б бұрандамен және су өткізбейтін резеңкемен қосылған екі бөліктен жасалған. Екінші корпус цилиндрлік бөшке мен бұрандалы қақпағы бар бөшке түрінде жасалды. Корпустар су өткізбейтіндігіне, құлау кезіндегі тұтастығына және электромеханикалық пресс-машинаның көмегімен үш жағынан жүктемелерге төзімділігіне тексерілді. Сығымдау сынақтарында екі корпус та 0,6-дан 2,11 кПа-ға дейін жеткілікті қарсылықты көрсетті. Егер қолданылатын салмақ туралы айтатын болсақ, онда



корпустар жүктеме әсер ететін тараптарға байланысты 65,3-тен 165,3 кг-ға дейін көтере алады деп болжауға болады. Тұтастық сынақтары корпусның екі түріне де айтарлықтай зиян тигізбеді, ал суға төзімділік сынағы 3 күндік сүңгуірден кейін сынақтан өтпеген тікбұрышты корпусның әлсіздігін анықтады. Салыстырмалы түрде цилиндрлік корпус неғұрлым сенімді болды, өйткені оның барлық жағынан қарсылықтың орташа ауытқуы тіктөртбұрышқа қарағанда екі есе аз болды. Сонымен қатар, бөшке тәрізді корпус су өткізбейтін, аз материалдық және уақытты қажет ететін болып шықты.

**Түйін сөздер:** бұзылмайтын бақылау, жетілу сенсоры, корпус, беріктік, пластик.

**А. Анискин**

*University North, Вараждин, Хорватия*

### Разработка и тестирование корпуса датчика зрелости бетона

**Аннотация.** В данном исследовании были предложены и подвергнуты испытаниям на прочность два типа нестандартных корпусов для датчика зрелости, изготовленных из двухкомпонентного пластика. Первый прямоугольный корпус был изготовлен из двух частей, соединенных 6 винтами, и гидроизолирован резиной. Второй корпус был выполнен в форме бочонка с цилиндрическим бочонком и завинчивающейся крышкой. Корпуса были испытаны на водонепроницаемость, целостность при падении и устойчивость к нагрузкам с трех сторон с помощью электромеханического пресса. При испытаниях на сжатие оба корпуса показали вполне приемлемое сопротивление в диапазоне от 0,6 до 2,11 кПа. Предположительно корпуса могут выдержать от 65,3 до 165,3 кг в зависимости от сторон, к которым прикладывается нагрузка. Испытания на целостность не вызвали заметных повреждений на обоих типах корпусов, в то время как испытание на водонепроницаемость выявило слабость прямоугольного корпуса, который не выдержал испытания при погружении в воду в течение 3 дней. Для сравнения, цилиндрический корпус оказался более надежным, так как среднее отклонение сопротивления по всем сторонам оказалось в два раза меньше, чем у прямоугольного. Кроме того, корпус в форме бочонка оказался более водонепроницаемым, менее материалоемким и трудоемким.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, датчик зрелости, корпус, долговечность, пластик.

### References

1. Giatec. Wireless SmartRock™ Concrete Sensors Keep Construction Workers Safe During Pandemic [Electronic resource] / Giatec // CISION PR Newswire. — [2021]. — Mode of access: <https://www.prnewswire.com/news-releases/wireless-smartrock-concrete-sensors-keep-construction-workers-safe-during-pandemic-301189123.html> (accessed date: 13.09.2021).
2. Masaev, Yu.A., Politov, A.P., Masaev, V.Yu. Beton v stroitelstve – s drevneishih vremen do nashih dnei [Concrete in construction - from ancient times to the present day]. Вестник Кузбасского государственного технического университета [Bulletin of the Kuzbass State Technical University] 121(3), 2017, 207–213. [in Russian].
3. Building Materials in Civil Engineering. H. ZhangWoodhead Publishing, 2011, 441.
4. Giatec. Roxi™ Wins IEEE's Outstanding Clean Technology Award | Giatec [Electronic resource]. Giatec Scientific Inc., 2021. Mode of access: <https://www.giatecscientific.com/company-news/giatecs-roxi-ai-program-wins-ieeees-outstanding-clean-technology-award/> (accessed date: 13.09.2021).

5. Olson, C. iButtonLink Sensors Complete Space Mission [Electronic resource]. iButtonLink Technology, 2021. Mode of access: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0164/3524/files/iButtonLink\\_-\\_Rhodium\\_-\\_NASA\\_NG-14\\_return\\_release\\_FINAL\\_2-1-21.pdf?v=1612226930](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0164/3524/files/iButtonLink_-_Rhodium_-_NASA_NG-14_return_release_FINAL_2-1-21.pdf?v=1612226930) (accessed date: 13.09.2021). [in Russian].
6. ChipSelect. Etapy razrabotki elektroniki [Stages of electronics development] [Electronic resource] / ChipSelect // ChipSelect Technology, 2021. Mode of access: <http://www.chipselect.ru/produkcija/razrabotka-ehlektroniki> (accessed date: 13.09.2021). [in Russian].
7. Utepov, Ye.B., Khudaibergenov, O.A., Kabdush, Ye.B., Kazkeev, A.B. Prototyping an embedded wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures. *Computers and Concrete*, 2019, 24(2), 95–102. DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/cac.2019.24.2.095>
8. Utepov, Ye.B., Aniskin, A., Ibrashov, A.P., Tulebekova, A.S. Maturity sensors placement based on the temperature transitional boundaries. *Magazine of Civil Engineering*, 2019, 90(6), 93–103. DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.90.9>
9. GWPGroup. IP ratings explained: ingress protection and what it means for cases [Electronic resource]. GWP Group, 2016. Mode of access: <https://www.gwp.co.uk/guides/ip-ratings-explained/> (accessed date: 13.09.2021).
10. Kimteks. Kimteks - Kimya Tekstil Ürünleri Tic. A.Ş. [Electronic resource]. Kimteks, 2021. Mode of access: <https://www.kimteks.com.tr/en/> (accessed date: 13.09.2021).
11. Silicone Rubber for Rapid Prototyping [Electronic resource]. SHENZHEN HONG YE JIE TECHNOLOGY Co.,Ltd., 2021. Mode of access: [http://www.szrl.net/a/Products/Molding\\_Silicone\\_Rubber/Silicone\\_for\\_Prototyping/2021/0419/1742.html](http://www.szrl.net/a/Products/Molding_Silicone_Rubber/Silicone_for_Prototyping/2021/0419/1742.html) (accessed date: 13.09.2021).
12. GOST 15150-69 Mashiny, pribori i drugie tehicheskie izdeliya [Machines, instruments and other industrial products], 2013.
13. Martínez, S.S., Vázquez, C.O., García, J.G., Ortega, J.G. Quality inspection of machined metal parts using an image fusion technique. *Measurements*, 2017, 111, 374–383. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.002
14. UNIFRAME. Ispytatelniy elektromehaničeskij press [Electromechanical test press] [Electronic resource]. UNIFRAME, 2021. Mode of access: <http://bavcompany.ru/catalog/lab/asfaltoanalizatory/uniframe-50-kn/> (accessed date: 13.09.2021).

#### Information about authors:

A. Aniskin – Ph.D., «Кұрылыс» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Солтүстік университеті, Вараждин, Хорватия.

A. Aniskin – Ph.D., Associate Professor at the Department of Civil Engineering, University North, Varazhdin, Croatia.

А.С. Кадыров, А.А. Ганюков, Б.К. Сарсембеков\*,  
Ж.Ж. Жунусбекова, К.А. Синельников

Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан  
\*Автор для корреспонденции: baurisk@mail.ru

## Исследование процесса ультразвуковой очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания

**Аннотация.** Авторами разработана и исследована математическая модель работы ультразвукового автомобильного глушителя, позволяющая рассчитать необходимые параметры для эффективной работы по очистке отработавшего газа автомобильного транспорта. Проведен эксперимент, доказывающий эффективность применения ультразвукового воздействия для очистки выхлопного газа автомобильного транспорта.

Рассмотрены силы, действующих на частицу газа, движущуюся в ультразвуковом автомобильном глушителе, определены значения скоростей движения коагулируемых частиц по горизонтали и вертикали, коэффициент коагуляции в ультразвуковом глушителе.

Эффективность применения ультразвукового воздействия на выхлопной газ автомобильного транспорта был доказан в ходе проведенного эксперимента и имеет перспективное развитие данного направления очистки аэрозолей от вредных примесей предложенным способом. По результатам эксперимента концентрации углеводорода СН уменьшилась более чем в 2 раза, при 1000 оборотах в минуту с 50 ppm/мин до 27 ppm/мин.

**Ключевые слова:** математическая модель ультразвукового глушителя, ультразвуковая очистка, выхлопные газы, ультразвуковой глушитель, коагуляция, двигатель внутреннего сгорания.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-18-28](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-18-28)

### Введение

Загрязнение городского воздуха является серьезной проблемой во всем мире, как в развитых, так и в развивающихся странах. Рост городского населения и увеличение объема моторизованного движения в городах привели к серьезному загрязнению воздуха, влияющему на окружающую среду и здоровье людей. Всемирная организация здравоохранения подсчитала, что в развивающихся странах рост загрязнения воздушного бассейна приводит к более чем 2 миллионам смертей в год, а также к различным случаям респираторных заболеваний. Одним из основных источников загрязнения воздуха является сектор автомобильного транспорта, коммерческая и промышленная деятельность также вносит свой вклад. Более 70-80% загрязнения воздуха в мегаполисах в развивающихся странах связано с выбросами транспортных средств, вызванными большим количеством старых транспортных средств, в сочетании с плохим техническим обслуживанием транспортных средств, неадекватной дорожной инфраструктурой и низким качеством топлива. В развитых странах агентства по мониторингу качества воздушного бассейна предоставляют текущую информацию о состоянии качества воздуха. Это помогает в оценке существующих политик и их эффективной реализации [1].

Повышение концентрации выхлопных газов приводит к увеличению заболеваний сердечно-сосудистой системы и легких. Уменьшение вредных выбросов выхлопных газов автомобилей является важной задачей при решении экологической проблемы загрязнения окружающей среды [2].

В настоящее время существует ряд способов очистки выхлопных газов от вредных примесей. Наиболее распространенные из них: сухой, влажный, электрический, каталитический и ультразвуковой метод газоочистки. Авторами исследован ультразвуковой метод очистки

выхлопного газа от вредных примесей. Произведено математическое моделирование процесса коагуляции газа в глушителе автомобильном глушителе [3,4,5].

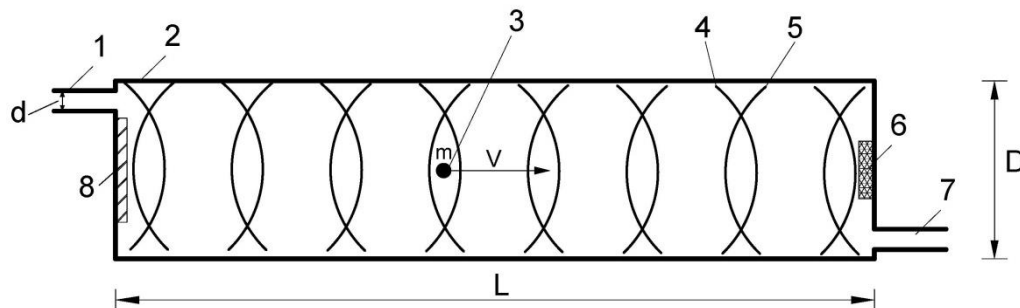
### Математическое моделирование процесса коагуляции газа в глушителе

Коагуляция (от лат. coagulatio — свертывание, сгущение), также флокуляция (от лат. floculi — клочья, хлопья) — физико-химический процесс слипания мелких частиц дисперсных систем в более крупные под влиянием сил сцепления с образованием коагуляционных структур. [6,7]

Коагуляция ускоряется при воздействии ультразвука, который оказывает диспергирующее действие на эмульсии и жидкие золи, а на аэрозоли (дым, туман, пыль) оказывает коагулирующее действие. Это объясняется тем, что в газах возможны только продольные волны вызывающие сжатие. Поперечные волны вызывают деформационные сдвиги. В продольной волне частицы среды совершают колебания относительно своего среднего положения в направлении параллельном распространению волны [7,8].

Для осуществления математического моделирования процесса коагуляции частиц выхлопного газа в автомобильном глушителе под действием ультразвука необходимо аналитическим путем определить коэффициент коагуляции  $K$  и длину  $L$  на которой происходит осаждение сажи (коагуляционных частиц) на дно глушителя.

Рассмотрим упрощенную схему работы ультразвукового глушителя (Рисунок 1).



1 – входной патрубок; 2 – корпус глушителя; 3 – частица газа;  
4, 5 – соответственно фронты движения прямой и обратной волны ультразвуковых колебаний; 6 – ультразвуковой излучатель; 7 – выходной патрубок; 8 – отражатель колебаний.

Рисунок 1. Упрощенная схема работы ультразвукового глушителя

В глушитель 2 через патрубок 1 диаметром  $d$  подается выхлопной газ, который выходит из емкости через трубу 7. На внутренних стенках глушителя размещены ультразвуковые излучатели 6 и отражатель волн 8. Излучатель формирует волну фронтом 4, а отражатель обратную волну фронтом 5.

В случае падения на отражатель (границу двух сред) плоскую границу двух сред возникают стоячие волны, так как отражающая среда и отражатель обладают разными акустическими сопротивлениями. В этом случае образуется зона стоячих волн, в которой интенсивно происходит коагуляция. Частицы газа массой  $m$ , в том числе и увеличенные в размерах, смещаются в сторону выхлопной трубы со скоростью  $V$ . Коагулирующиеся частицы осаживаются на дне глушителя, с наибольшей вероятностью ближе к выхлопному отверстию [9,10].

Рассмотрим схему сил, действующих на частицу газа массой  $m$  движущуюся в ультразвуковом глушителе (Рисунок 2).

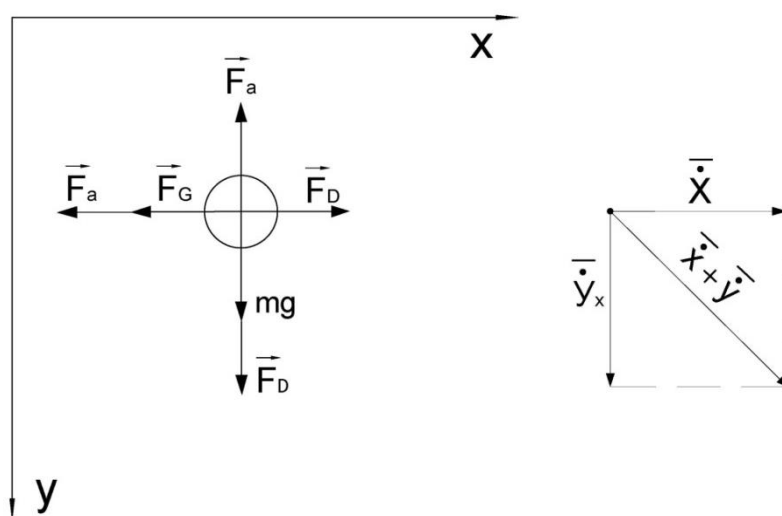


Рисунок 2. Силы, действующих на частицу газа и направление скоростей

По оси  $y$  на частицу действует сила тяжести  $mg$ , сила давления, которая создается ультразвуковым генератором  $F_a$  сила давления со стороны работающего двигателя  $F_d$ , сила трения частиц друг о друга  $F_g$ , учитывается по зависимости Бьеркнеса и представляющая собой гидродинамическое сопротивление [5].

Сила  $F_a$  определяется следующей зависимостью:

$$F_a = \pi r^2 A \rho c \omega \cos \omega \left( t - \frac{n}{c} \right), \quad (1)$$

где  $r$  – радиус частицы;  $A$  – амплитуда ультразвуковых колебаний;  $\rho$  – плотность частицы газа;  $c$  – скорость звука в среде газа;  $t$  – время;  $n$  – фазовая скорость;  $f$  – частота колебаний;  $\omega = 2\pi f$ .

Сила  $F_a$  определяется зависимостью определяющая давление для цилиндрического распределения звуковой волны.

Сила давления  $F_d$  зависит от отношения диаметров впускного патрубка  $d$ , диаметра глушителя  $D$  и давления во входе в глушитель  $P$ :

$$F_d = \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2}. \quad (2)$$

Величина гидродинамического сопротивления  $F_g$  определяется зависимостями от динамической вязкости  $\eta$  и скорости движения частицы по оси  $X$  или  $Y$  [6,7]:

$$F_{G_x} = 6\pi\eta r \frac{dx}{dt}, F_{G_y} = 6\pi\eta r \frac{dy}{dt}. \quad (3)$$

В векторной форме общее уравнение движения имеет вид:

$$m\vec{a} = \vec{F}_d + \vec{F}_a + \vec{F}_g + m\vec{g}. \quad (4)$$

В проекциях на оси координат уравнение движения (4):

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2} - \pi r^2 \rho A c \omega \cos \omega \left( t - \frac{n}{c} \right) - 6\pi \eta r \frac{dx}{dt}; \\ m\ddot{y} = mg - \pi r^2 \rho A c \omega \cos \omega \left( t - \frac{n}{c} \right) - \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2} - 6\pi \eta r \frac{dy}{dt}. \end{cases} \quad (5)$$

Обозначив:

$$\theta = \frac{6\pi \eta r}{m}; B = \frac{\pi r^2 d^2 P}{D^2 m}; E = \frac{\pi r^2 \rho A c \omega}{m}. \quad (6)$$

С учетом (6) систему (5) получили:

$$\begin{cases} \ddot{x} + \theta \dot{x} = B - E \cos \omega \left( t - \frac{n}{c} \right); \\ \ddot{y} + \theta \dot{y} = g - B - E \cos \omega \left( t - \frac{n}{c} \right). \end{cases} \quad (7)$$

Начальные условия при  $t=0$ :

$$\begin{cases} y = y_0 = 0; & x = x_0 = 0; \\ \dot{y} = \dot{y}_0 = v_{y_0}; & \dot{x} = \dot{x}_0 = v_{x_0}, \end{cases} \quad (8)$$

где  $v_{y_0}$  и  $v_{x_0}$  – соответственно начальные скорости движения частицы по осям X и Y.

Решение первого уравнения системы определится как сумма решений однородного уравнения и двух частных. Решение второго уравнения системы (8) аналогично.

Окончательные решения имеют вид:

$$\begin{cases} x = \frac{\dot{x}_0}{\theta} \left[ 1 - e^{-\theta t} \right] + \frac{B}{\theta} t + \frac{E}{\omega^2 + \theta^2} \left[ \cos \omega \left( t - \frac{n}{c} \right) - \frac{\theta}{\omega} \sin \omega \left( t - \frac{n}{c} \right) \right]; \\ y = \frac{\dot{y}_0}{\theta} \left[ 1 - e^{-\theta t} \right] + \frac{g - B}{\theta} t + \frac{E\theta}{\omega^2 + \theta^2} \left[ \cos \omega \left( t - \frac{n}{c} \right) - \frac{\theta^2}{\omega} \sin \omega \left( t - \frac{n}{c} \right) \right]. \end{cases} \quad (9)$$

Правильность полученных решений (9) была проверена их дифференцированием и подстановкой в исходную систему уравнений (7).

Для осуществления коагуляции внутри глушителя время оседания сажи должно быть меньше времени выхода их в атмосферу. Это должно осуществляться хотя бы для чистки самых крупных частиц. С учетом известных в конкретных случаях диаметра глушителя  $D$ , его длины  $L$ , справедливо

$$\frac{L}{V_x} > \frac{D}{V_y}, \quad (10)$$

или,

$$\frac{V_x}{V_y} > \frac{D}{L}, V_y > \frac{DV_x}{L}. \quad (11)$$

Если для конкретного оборудования величины  $L$ ,  $D$ ,  $V_x$  - известны, и величина  $V_y$  легко рассчитывается, то для проектных целей нужна зависимость связывающая скорости  $V_x$  и  $V_y$  - физическими параметрами газа. С целью их определения возьмем производные величин  $x$  и  $y$  (зависимость 9), получим выражения скорости  $V_x$  и  $V_y$ . Затем из  $V_x$  вычтем  $V_y$  (при условии начальные скорости равны 0), получим разницу  $\Delta_{\dot{x},\dot{y}} = \dot{x} - \dot{y}$ :

$$\Delta_{\dot{x}-\dot{y}} = \dot{x} - \dot{y} = \frac{2B - g}{\theta}. \quad (12)$$

раскрыв символы найдем:

$$\Delta_{\dot{x}-\dot{y}} = \dot{x} - \dot{y} = \frac{rd^2P}{D^2m\eta} - \frac{g}{6r\pi\eta m}; \quad (13)$$

$$V_y = V_x \left( \frac{g}{6r\pi} - \frac{rd^2P}{D^2} \right) \frac{1}{m\eta}. \quad (14)$$

То есть скорость падения частицы увеличивается при увеличении давления на входе в глушитель и уменьшается при увеличении вязкости газа.

Формула (14) используется с целью упрощения расчетов и использования в них известных величин  $V_x$  и  $D$

Задачу определения коэффициента скорости коагуляции решили использованием уравнения кинетики газа [6,7]:

$$n = n_0 \exp(-Kt), \quad (15)$$

где  $n$  и  $n_0$  - счетчик концентрации частиц газа, соответственно текущий и начальный.

Сделаем предположение, что средняя концентрация молекул газа и сажи прямо пропорциональны их массе и обратно пропорциональны занимаемому объему, тогда:

$$m_0 = nm_2 + (1 - n)m_c, \quad (16)$$

где  $m_0$  - начальная масса сажи;  $m_2$  - масса газа;  $m_c$  - масса сажи.

Справедливо,  $m_c = m_0 - m_2$ :

$$m_c = m_0(1 - e^{-kt}). \quad (17)$$



Логарифмируя и проведя преобразования, получили зависимость коэффициента коагуляции газа от начальной концентрации и времени [7]:

$$K = \ln \frac{m_c}{m_0} / t, \quad (18)$$

где  $t$  – время движения частицы газа по глушителю.

Так как

$$t = \frac{V_x}{L}, \quad (19)$$

то для конкретного глушителя

$$K = \frac{L}{V_x} \ln \frac{m_c}{m_0}. \quad (20)$$

Коэффициент коагуляции по своей физической сущности определяет величину скорости этого процесса и имеет размерность  $c^{-1}$ .

### Эксперимент

Цель эксперимента является - получение зависимостей определяющие параметры коагуляции: массу сажи, коэффициент коагуляции и его скорость.

Для достижения поставленных целей был проведен натурный эксперимент на разработанном лабораторном полноразмерном стенде (Рисунки 3, 4). В процессе эксперимента определялась степень очистки выхлопного газа от СО и СН.

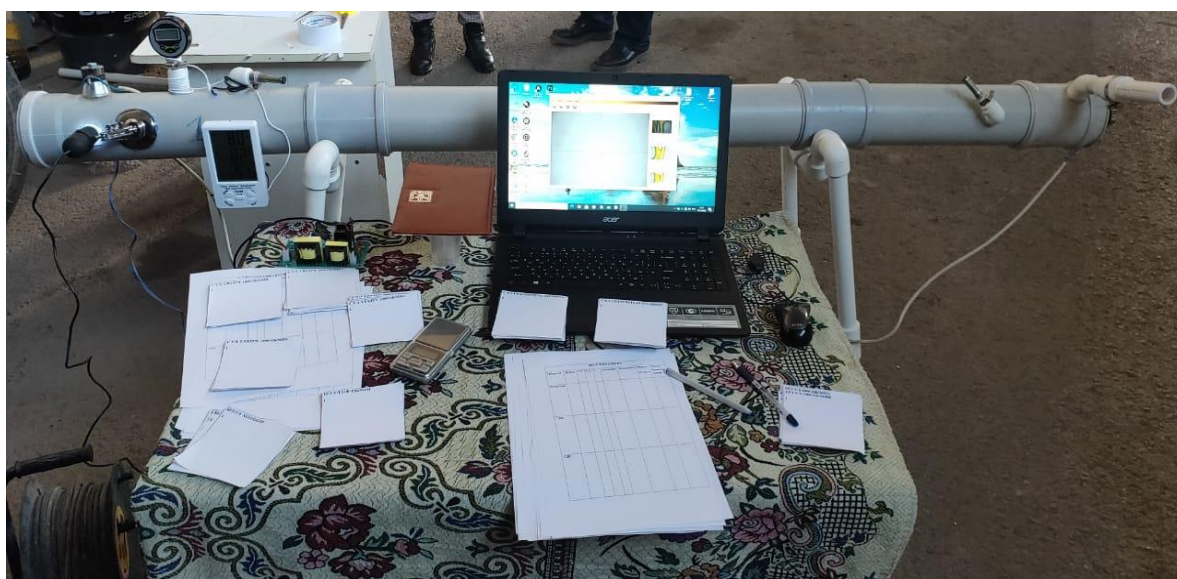
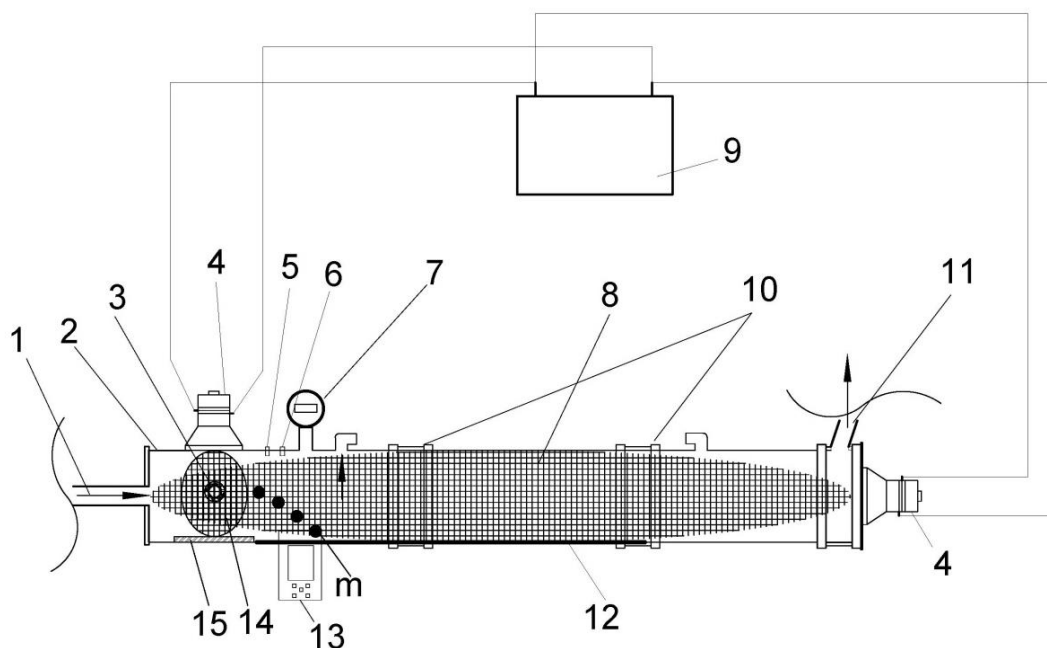


Рисунок 3. Экспериментальный ультразвуковой глушитель

Схема экспериментального ультразвукового глушителя представлена на рисунке 4.



1- входной патрубок; 2 - корпус у/з глушителя; 3 - электронный микроскоп МИКМЕД 2.0; 4 - ультразвуковой излучатель; 5 - датчик температуры; 6 - влагомер; 7 - электронный манометр; 8 - область воздействия продольных ультразвуковых волн; 9 - ультразвуковой генератор; 10 - муфта соединения труб; 11 - выходной патрубок; 12 - место сбора сажи; 13 - термометр-гигрометр; 14 - область воздействия поперечных у/з волн; 15- отражатель.

**Рисунок 4. Схема универсального ультразвукового глушителя**

Экспериментальный ультразвуковой глушитель (Рисунки 4) состоит из полипропиленовой трубы диаметром 110 мм и длиной 3 м. В корпусе глушителя установлено ультразвуковое оборудование, состоящее из ультразвукового генератора 9, двух ультразвуковых излучателей 4 и отражателя ультразвуковых волн 15; цифровой USB-микроскоп Микмед 2.0 с коэффициентом увеличения от 20 до 200х с возможностью фото и видео фиксации при разрешении 1920×1080 пикселей; датчик температуры 5 и гигрометр 6, передающие информацию на термометр-гигрометр 13; электронный манометр 7; отражатель 15.

В ходе эксперимента была доказана правомерность гипотезы о возможности очистки выхлопных газов ультразвуком в автомобильном глушителе. В таблице 1 и диаграмме (Рисунки 6) указаны концентрации СН и СО в глушителе.

**Таблица 1**

**Концентрация СН и СО при 1000 оборотах в минуту**

Работа ультразвукового глушителя	СН (ppm) мин.	СО (%)
Без ультразвука	50	1,2
С ультразвуком (1 поперечный излучатель)	31	1,2
С ультразвуком (2 излучателя)	29	1,6
С ультразвуком (1 продольный излучатель)	27	1,2



Рисунок 6. Диаграмма содержания СН и СО в выхлопном газе при 1000 оборотах коленчатого вала в минуту

### Заключение

В статье разработана и исследована математическая модель работы ультразвукового глушителя, рассмотрим силы, действующих на частицу газа движущуюся в ультразвуковом автомобильном глушителе, определены значения скоростей движения коагулируемых частиц по горизонтали и вертикали, коэффициент коагуляции в ультразвуковом глушителе. Для осуществления коагуляции внутри ультразвукового автомобильного глушителя время оседания частиц сажи должно быть меньше времени выхода их в атмосферу [11-15].

Эффективность применения ультразвукового воздействия на выхлопной газ автомобильного транспорта был доказан в ходе проведенного эксперимента и имеет перспективное развитие данного направления очистки аэрозолей от вредных примесей предложенным способом. По результатам эксперимента концентрации углеводорода СН уменьшилась более чем в 2 раза, при 1000 оборотах в минуту с 50 ppm/мин до 27 ppm/мин.

### Список использованных источников

1. Korablev R.A., Belokurov V.P., Zelikov V.A., Likhachev D.V., Razgonyaeva V.V., Boyko N.I. Environmental safety of vehicles. - Voronezh, 2011. - 3 p.
2. Kadyrova I.A., Mindubaeva F.A., Grijbovski A.M. Prediction of outcomes after stroke: A systematic review. - Human Ecology (Russian Federation), 2015, 2015(10), стр. 55–64.
3. Kadyrov A., Ganyukov A., Pak I., Suleyev B., Balabekova K. Theoretical and experimental study of operation of the tank equipment for ultrasonic purification of the internal combustion engine exhaust gases, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23(3), pp. B219–B226. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.3.B219-B226>.
4. Kadyrov A., Zhunusbekova Z., Ganyukov A., Kadyrova I., Kukesheva A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23(2), p. B97–B105. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B97-B105>.

5. Kadyrov A., Sarsembekov B., Ganyukov A., Zhunusbekova Z., Alikarimov K. Experimental Research of the Coagulation Process of Exhaust Gases under the Influence of Ultrasound Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23(4), B288-B298. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.4.B288-B298>.
6. Радж Балдев, Раджендран В., Паланичами П. Применения ультразвука. – М: Техносфера, 2006. – 576 с.
7. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман; пер. с нем. изд. В.С. Григорьева и Л.Д. Розенберга. – М.: Издательство иностранной литературы, 1957. – 726 с.
8. Варшавский И.Л., Малов Р.В. Как обезвредить отработавшие газы автомобиля. М.: Транспорт, 1968. – 128 с.
9. В. Н. Ложкин, В. В. Шульгин, Максимов М. А. О моделировании систем очистки отработавших газов ДВС с использованием нейтрализаторов и тепловых аккумуляторов фазового перехода. //Технико-технологические проблемы сервиса, 2011, №2(16) с. 42 – 47.
10. Химическая энциклопедия: В 5 т.; т 2; Даффа – Меди/Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.) и др. –М.: Сов. энцикл., 1990. – 671 с.: ил.
11. Физика процесса ультразвуковой коагуляции выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания автотранспортной техники / А.С. Кадыров, И.А. Пак, И.А. Кадырова, А.А. Ганюков // Вестник ПГУ. Энергетическая серия 2020. №1. С.219-230.
12. T. Shamim. Effect of engine exhaust gas modulation on the cold start emissions // International Journal of Automotive Technology, Vol. 12, No. 4, pp. 475–487 (2011).
13. Dong, S., Lipkens, B., Cameron, T.V. The effects of orthokinetic collision,
14. Результаты экспериментальных исследований работы емкостного оборудования ультразвуковой очистки отработавших газов автотранспорта / М.К. Ибатов, А.С. Кадыров, И.А. Пак, И.А. Кадырова, Б.Ш. Аскараров // Уголь. 2020. № 2. С. 73-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-73-78.
15. Патент РК №3194. Устройство для ультразвуковой очистки выхлопных газов / М.К. Ибатов, А.С. Кадыров, О.Т. Балабаев, Б.Ш. Аскараров, И.А. Пак; заявл. 20.12.2017; опубл. 02.10.2018.

**А.С. Кадыров, А.А. Ганюков, Б.К. Сарсембеков, Ж. Ж. Жунусбекова,  
К.А. Синельников**

*Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан*

#### **Іштен жану қозғалтқышының пайдаланылған газын ультрадыбыстық тазарту процесін зерттеу**

**Аңдатпа.** Авторлар автомобиль көлігінің пайдаланылған газын тазарту бойынша тиімді жұмыс істеу үшін қажетті параметрлерді есептеуге мүмкіндік беретін ультрадыбыстық автомобиль дыбыс сөндіргішінің математикалық моделін әзірледі және зерттеді. Автомобиль көлігінің пайдаланылған газын тазарту үшін ультрадыбыстық әсерді қолданудың тиімділігін дәлелдейтін эксперимент жүргізілді.

Ультрадыбыстық автомобиль дыбыстық сөндіргіште қозғалатын газ бөлшегіне әсер ететін күштер қарастырылды, көлденең және тігінен коагуляцияланған бөлшектердің қозғалыс жылдамдығының мәндері, ультрадыбыстық дыбыс сөндіргіштегі коагуляция коэффициенті анықталады.

Автомобиль көлігінің пайдаланылған газына ультрадыбыстық әсерді қолдану тиімділігі

эксперимент барысында дәлелденді және ұсынылған әдіспен аэрозольдерді зиянды қоспалардан тазартудың осы бағытын болашақта дамытуға ие. Эксперимент нәтижелері бойынша СН концентрациясы 2 еседен астам, минутына 1000 айналым кезінде 50 ppm/мин-тен 27 ppm/мин-ке дейін төмендеді.

**Түйін сөздер:** ультрадыбыстық сөндіргіштің математикалық моделі, ультрадыбыстық тазарту, пайдаланылған газ, ультрадыбыстық сөндіргіш, коагуляция, іштен жану қозғалтқышы.

**A.S. Kadyrov, A.A. Ganyukov, B.K. Sarsembekov, Zh.Zh. Zhunusbekova, K.A. Sinelnikov**  
*Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

### **Investigation of the process of ultrasonic cleaning of exhaust gases from an internal combustion engine**

**Abstract.** The authors have developed and investigated a mathematical model of the operation of an ultrasonic automobile muffler, which allows calculating the necessary parameters for effective work on cleaning the exhaust gas of motor transport. An experiment has been conducted to prove the effectiveness of ultrasonic exposure for cleaning the exhaust gas of motor vehicles.

There are considered forces acting on a gas particle moving in an ultrasonic automobile muffler, the values of the velocities of motion of coagulated particles horizontally and vertically. There are determined the coagulation coefficient in an ultrasonic muffler.

The effectiveness of ultrasonic exposure to the exhaust gas of motor transport has been proven during the experiment and has a promising development of this direction of cleaning aerosols from harmful impurities by the proposed method. According to the results of the experiment, the concentration of hydrocarbon CH decreased by more than 2 times, at 1000 rpm from 50 ppm/min to 27 ppm/min.

**Keywords:** a mathematical model of an ultrasonic muffler, ultrasonic cleaning, exhaust gases, ultrasonic muffler, coagulation, internal combustion engine.

### **References**

1. Korablev R.A., Belokurov V.P., Zelikov V.A., Likhachev D.V., Razgonyaeva V.V., Boyko N.I. Environmental safety of vehicles. - Voronezh, 2011.- 3 p.
2. Kadyrova I.A., Mindubaeva F.A., Grjibovski A.M. Prediction of outcomes after stroke: A systematic review. - Human Ecology (Russian Federation), 2015, 2015 (10), p. 55–64
3. Kadyrov A., Ganyukov A., Pak I., Suleyev B., Balabekova K. Theoretical and experimental study of operation of the tank equipment for ultrasonic purification of the internal combustion engine exhaust gases, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23 (3), pp. B219 – B226. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.3.B219-B226>
4. Kadyrov A., Zhunusbekova Z., Ganyukov A., Kadyrova I., Kukeshva A. General characteristics for loading the working elements of drilling and milling machines when moving in the clay solution, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23 (2), p. B97 – B105. ISSN 13354205. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B97-B105>
5. Kadyrov A., Sarsembekov B., Ganyukov A., Zhunusbekova Z., Alikarimov K. Experimental Research of the Coagulation Process of Exhaust Gases under the Influence of Ultrasound Communications - Scientific Letters of the University of Zilina [online], 2021, 23 (4), B288-B298. Available from: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.4.B288-B298>
6. Raj Baldev, Rajendran V., Palanichami P. Application of ultrasound. - M: Technosphere, 2006. - 576 p.

7. Bergman L. Ultrasound and its application in science and technology / L. Bergman; пер. with him. изд. V.S. Grigorieva and L.D. Rosenberg. - М.: Publishing house of foreign literature, 1957. - 726 p.
8. Varshavsky IL, Malov RV How to neutralize the exhaust gases of the car. М.: Transport, 1968. - 128 p.
9. V. N. Lozhkin, B. B. Shulgin, Maksimov M. A. On the modeling of the system of purification of gases used by DVS with the use of neutralizers and thermal accumulators of the phase transition.// Technical and technological problems of the service, 2011, №2 (16) с. 42 - 47.
10. Chemical encyclopedia: In 5 vols.; т 2; Daffa - Medi / Redkol.: Knunyants IL (ch. ed.) and others. -М.: Sov. encycl., 1990. - 671 p.: ill.
11. Physics of the process of ultrasonic coagulation of exhaust gases of engines of internal combustion of motor vehicles / A.S. Kadyrov, IA Pak, I.A. Kadyrova, AA Ganyukov // Bulletin of the PSU. Energy series 2020. №1. P.219-230.
12. T. Shamim. Effect of engine exhaust gas modulation on the cold start emissions // International Journal of Automotive Technology, Vol. 12, no. 4, pp. 475-487 (2011).
13. Dong, S., Lipkens, B., Cameron, T.V. The effects of orthokinetic collision,
14. The results of experimental studies of the capacitive equipment of ultrasonic cleaning of gases used in motor transport / М.К. Ибатов, А.С. Кадиров, IA Pak, I.A. Kadyrova, B.Sh. Askarov // Coal. 2020. № 2. С. 73-78. DOI: 10.18796 / 0041-5790-2020-2-73-78.
15. Patent RK №3194. Instrument for ultrasonic cleaning of exhaust gases / М.К. Ибатов, А.С. Кадиров, OT Balabayev, B.Sh. Askarov, IA Pak; application. 20.12.2017; opubl. 02.10.2018.

#### Сведения об авторах:

**Кадиров Адиль Суратович** - д.т.н, проф., г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс +7-701-915-09-11, ludmiila77025@mail.ru.

**Ганюков Александр Анатольевич** - Доктор PhD, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс 8-705-747-32-14, e-mail sgn2002@mail.ru.

**Сарсембеков Бауыржан Кобланович** - Карагандинский технический университет, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс, +7-747-439-05-87, e-mail baurask@mail.ru.

**Жунусбекова Жанара Жумаишқызы** - Доктор PhD, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс, +7-705-827-51-6, e-mail zhzhzh\_84@mail.ru.

**Синельников Кирилл Анатольевич** - Карагандинский технический университет, г. Караганда, Н.Назарбаева 56, факс +7-707-363-23-69, e-mail coolzero7777@gmail.com.

**Kadyrov Adil Suratovich** - - Doctor of Technical Sciences, Professor, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-701-915-09-11, e-mail ludmiila77025@mail.ru.

**Ganyukov Alexandr Anatolyevich** - Ph.D., Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-705-747-32-14, e-mail sgn2002@mail.ru.

**Sarsembekov Bauyrzhan Koblanovich** - Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-747-439-05-87, e-mail [baurask@mail.ru](mailto:baurask@mail.ru)

**Zhunusbekova Zhanara Zhumashkyzy** - Ph.D., Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, +7-705-827-51-61, e-mail [zhzhzh\\_84@mail.ru](mailto:zhzhzh_84@mail.ru)

**Sinelnikov Kirill Anatolyevich** - Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, N.Nazarbayev 56, Contact phone, fax, +7-707-363-23-69, e-mail [coolzero7777@gmail.com](mailto:coolzero7777@gmail.com)



Г.Б.Толегенова\*<sup>1</sup>, В.А.Жмудь<sup>2</sup>, А.Б.Закирова<sup>1</sup>, М.Н.Калимолдаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Астана халықаралық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск, Ресей

\*Байланыс үшін автор: [gulnaz.tg85@gmail.com](mailto:gulnaz.tg85@gmail.com)

## Ақылды желілер технологиясы. Электр желілерінің дамуы

**Аңдатпа.** Технологияның дамуымен қатар электр энергиясына деген қажеттілік те күрт артуда, яғни электр энергиясын өндіру ғана емес, оны тарату да үлкен мәселеге айналууда. Осылайша, сенімділікке, тиімділікке, қауіпсіздікке, сондай-ақ қоршаған ортаға және энергетикалық тұрақтылыққа деген сұраныстың артуы электр желілерін күрделендіріп жатыр. Олар бүгінде «Ақылды желілер» тұжырымдамасы ретінде белгілі интеллектуалды энергия жүйесін қамтамасыз етеді. Бұл мақалада «Ақылды желілерге» олардың ерекшеліктері мен электр энергиясын тарату саласындағы әртүрлі аспектілері туралы шолу жасалды. Интеллектуалды электр желілері және олардың дамуы қарастырылды. Сонымен қатар, бұл мақала интеллектуалды электр желілерін талдау, оларды тұтынушылардың күнделікті өміріне енгізудің артықшылықтарына арналған. Әлемнің көптеген елдерінде «Ақылды желілердің» даму кезеңдері, сондай-ақ энергия тиімділігі мен ақылды электр желілерінің жұмыс істеуін арттыруға бағытталған кейбір шетелдік жобалар қарастырылды.

**Түйін сөздер:** Ақылды желі, автоматтандыру, энергияны басқару, тарату, заттар интернеті, үлкен деректер.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-29-38](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-29-38)

### Кіріспе

Урбанизация, өмір сүру деңгейіміз және технологиялардың дамуы энергияға деген қажеттілікті арттыруда. Бұл электр энергиясын тұтынудың бақылаусыз қалған жағдайда басқаруға болмайтын деңгейге дейін өсуіне әкелді. Бұл тұрақты энергияны қамтамасыз ету үшін ғана емес, бүкіл әлемде қоршаған ортаны сақтау үшін де алаңдатарлық жағдай. Жалпы энергия тұтынудың шамамен 75-80% қалаларда тұтынылады, яғни парниктік газдар шығарындыларының 80% құрайды [1]. Дәстүрлі орталықтандырылған электр қуатын тарату жүйесі ұзақ уақыттан бері пайдаланылады және электр желісі деп аталады. Электр энергиясын пайдаланудан бастап, жаһандық электр желілері технологияның дамуымен бірдей құрылымға, динамикаға және принциптерге ие. Сонымен дәстүрлі электр желілері электр энергиясын өндіру, тарату және бақылау сияқты кейбір негізгі функцияларға ғана бағытталған. Дәстүрлі электр жүйелерінде нақты уақыттағы бақылау мен мониторинг жоқ, бұл «Ақылды желілердің» нақты уақыттағы шешімі ретінде әрекет етуіне мүмкіндік береді. Осы мәселелерді шешу электр қуатымен жабдықтау құрылымын толығымен қайта құруды қажет етті. Электрлік артықшылықтар «Ақылды желілер» тұжырымдамасын іске асыруды ынталандырып қана қоймай, сонымен қатар экологиялық аспектілер болып табылады. Электр энергиясын тиімді пайдалану және жаңартылатын ресурстарға тәуелділік энергетикалық ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік береді.

«Ақылды желі» технологиясы электр энергиясын жоғары деңгейде өндіруге арналған шешімді және осы энергияны беру мен таратудың тиімді әдісін ұсынады. Олардың әмбебаптығының арқасында оларды орнату оңай және дәстүрлі торлармен салыстырғанда аз орын алады. «Ақылды желі» жобасының тұжырымдамасы желінің бақылануын қамтамасыз етуге, активтердің басқарылуын құруға, энергия жүйесінің өнімділігі мен қауіпсіздігін, әсіресе пайдалану, техникалық қызмет көрсету және жоспарлаудың экономикалық аспектілерін арттыруға бағытталған[2]. Сондықтан интеллектуалды желілік технологияны үлкен «Ақылды желісін» құру үшін барлық басқа микро желілерге қосылатын микро желілер деңгейінде



қолдануға болады деп саналады. Бұл «Ақылды желілер» үлкен әлеуетке ие және инфрақұрылымы жоқ дамушы елдерде электр энергиясын беру мен таратудың сенімділігін қамтамасыз ететін шешім бола алады. Елімізде көмірқышқыл газының тек 20% - ы көлік арқылы шығарылады, ал электр энергиясын өндіру көмірқышқыл газының 40% құрайды[3]. Бұл электр энергиясына деген сұраныстың өсуіне байланысты. Ақылды желілер электр энергиясын тиімді бөлу және, сайып келгенде, NOx және SOx сияқты парниктік газдар мен ластаушы заттардың шығарылуын азайту арқылы бұл мәселені шешуде маңызды рөл атқарады деп саналады. Сондай ақ, қазіргі тұрғынжайлардың көпшілігі қазандық немесе жылу электр орталығы негізінде орталықтандырылған жылумен жылытылатын көппәтерлі үйлерден тұрады. Қазіргі инфрақұрылымның орталықтандырылған жылу беру тораптарының тиімділігі төмен және жылу шығыны көп. Орта есеппен алғанда, Қазақстандағы тұрғын үйлер Солтүстік Еуропамен салыстырғанда алаңның бір бірлігіне шаққанда үш есе көп энергия тұтынады. Жылу шығынының жоғары деңгейі негізінен жабдықтардың тозуына, қажетті жөндеудің болмауына байланысты.1

«Ақылды желі» зерттеуінің алғашқы тұжырымдамасы 1997 жылы басталды және оның ұзақ тарихы бар[4]. Бұл мақалада «Ақылды желілер» технологиясына шолу, оның ішінде сенімділік, қауіпсіздік, энергияны басқару және өздік қалпына келу сияқты сипаттамалары мен мүмкіндіктері қарастырылады. Сондай-ақ, интеллектуалды желілердің желілік технологиялар тұжырымдамасын қалай өзгертетінін және қазіргі заманғы электр желілерінің мүмкіндіктері қаншалықты түбегейлі өзгерісі талқыланды.

Бұл жұмыстың мақсаты «Ақылды желі» тұжырымдамасының негізгі даму тенденцияларын талдау және зерттеу, сондай-ақ әртүрлі салалардағы негізгі мүдделі тараптардың мақсаттары мен қажеттіліктеріне негізделген Industry 4.0 шеңберінде осы тұжырымдаманы іске асыру әлеуеті болып табылады.

### «Ақылды желі» тұжырымдамасы

Энергетикадағы ақпараттық жүйелердің дамуына әсер ететін негізгі үрдістердің бірі «Ақылды желі» тұжырымдамасы болып табылады.

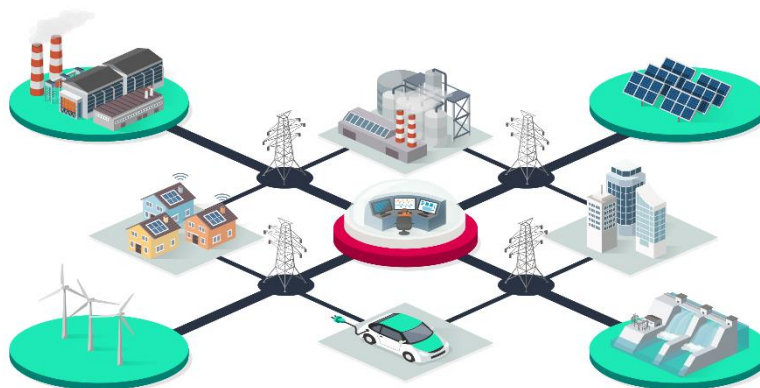
«Ақылды желі» түсінігінің нақты анықтамасы жоқ, өйткені ешкім оның қандай болатынын және қызмет көрсету саласында қалай жұмыс істейтінін нақты айта алмайды. Бұл тұжырымдама электр желілерін тарату жүйесінің іске қосылуымен дами бастады. Ол кезде бақылау, мониторинг, бағалар және электр энергиясын беру мен тарату қызметтері сияқты басқа да талаптар қажет болды. Дегенімен «Ақылды желі» тұжырымдамасын енгізу ақылды есептегішті орнатумен байланысты. 1970-80 жылдары олар тұтынушы туралы ақпаратты желіге қайта жіберу үшін пайдаланылды [5]. Бірақ ең маңызды және іргелі қажеттілік, тіпті соңғы жетістіктерді ескере отырып, электр желісі арқылы энергияны беру мен таратудың сенімділігі мен тиімділігі болып табылады. Бірақ соңғы зерттеулер көрсеткендей, желілер мен желілік жүйелер тек беру мен таратумен шектелмеуі керек, сонымен қатар, парниктік газдар шығарындылары мен көміртегі ізін азайту үшін таза және тұрақты энергия өндіруде маңызды рөл атқаруы керек.

«Ақылды желі» - бұл электр энергиясын өндіру, беру, тарату және тұтыну технологияларымен біріктірілген ақпараттық-коммуникациялық қосымшалар жүйесі. Бұл тұтынушыларға олардың қолданылуын басқаруға және тиімді ұсыныстардың бірін үнемді таңдауға мүмкіндік береді; жеткізу жүйесінің сенімділігі мен тұрақтылығын сақтау үшін автоматика мен балама ресурстарды пайдалану; жаңартылатын энергия көздеріне, сақтау мен өндіруге ыңғайлы баламаларды қолдану. SG тұжырымдамалық моделі 1-суретте көрсетілген.

Бүгінгі таңда Қазақстан Республикасының экономикасын дамытудың маңызды бағыттарының бірі энергия ресурстарын тұтынуды азайту болып табылады. Бұл көбінесе энергия ресурстарын тұтыну салдарынан қоршаған ортаға әсерді азайту қажеттілігімен және шығарындыларды тұтынумен байланысты.

Энергетика саласындағы маңызды міндеттердің бірі тиімділікті арттыру және энергия тұтынуды төмендету болып табылады.

Дәстүрлі желілер тек электр энергиясын беру және тарату үшін пайдаланылды, ал интеллектуалды желінің қазіргі заманғы тұжырымдамасы жағдайға байланысты шешім қабылдап, сақтай және тарата алады. Демек, Еуропадағы болашақтың электр желілерін стратегиялық орналастыру туралы құжатқа сәйкес, «Ақылды желі» - бұл барлық мүдделі тараптардың, мысалы, өндірушілер, тұтынушылар және екеуін де тиімділігі мен тұрақтылығымен қамтамасыз ету үшін жасайтын әрекеттерін біріктіретін, үнемді және қауіпсіз интеллектуалды электр желісі [6].



Сурет 1. «Ақылды желі» тұжырымдамасы

Электротехника және электроника инженерлері институтының (IEEE – the Institute of Electrical and Electronics Engineers) анықтамасы бойынша «Ақылды желі» – бұл энергия үнемдейтін және көздері мен тұтынушыларын жинақтайтын қосалқы станциялар арасындағы екі жақты коммутация көмегімен келісілген басқару есебінен үнемді жұмыс істейтін желілер.

«Ақылды желі» технологиясының артықшылықтары 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1

Дәстүрлі және «Ақылды желілерді» салыстыру [7]

Ақылды желі	Дәстүрлі желі
Нақты уақыттағы екі жақты байланыс	Бір жақты байланыс
Электр энергиясын өндірудің бөлінген жүйесі	Электр энергиясын өндіру үшін орталықтандырылған
Өзара байланысты желі	Радиальді желі
Іске қосылған датчиктердің саны көп	Аз мөлшерде негізгі датчиктер қолданылады
Сандық операция	Механикалық операция
Автоматты басқару және мониторинг	Қолмен басқару және мониторинг
Басқарудың кең ауқымы	Шектеулі бақылау
Қауіпсіздік және құпиялылық мәселелері	Қауіпсіздік немесе құпиялылық мәселелері жоқ

«Ақылды желілердің» негізгі сипаттамалары төменде көрсетілген:

Желінің элементтері мен қатысушылары арасындағы ақпарат алмасудың нақты уақыт режиміндегі өзара әрекеттесудің екі бағытты схемасы: генераторлардан электр тұтынушыларының құрылғыларына дейін.

Энергия тұтынушылардан, электр тарату желілерінен және соңғы тұтынушылардан электр энергетикасы жүйесінің барлық технологиялық тізбегін қамту.

«Ақылды желілерді» ірі апаттардан, табиғи апаттардан, сыртқы қауіптерден қорғау және өзін-өзі реттеу.

Электр энергетикасы жүйесінің инфрақұрылымын оңтайлы пайдалануға жәрдемдесу.

Жалпы экономика тұрғысынан-жаңа нарықтар мен «Ақылды желі» қызметтерінің пайда болуы.

Заманауи технологиялардың арқасында ғимараттар, кәсіпорындар ауқымында да, үйдегі қарапайым электр құрылғыларында да «Ақылды желілерді» қолдану.

### **Жаңа технологиялар мен зерттеулер**

Қазіргі уақытта интеллектуалды желіні заманауи қажеттіліктерге сенімді және тұрақты ету үшін бірқатар ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Бұл зерттеулер әртүрлі технологияларға бағытталған. Осы зерттеулер мен жетістіктердің барлығын қамту қиын, бірақ бұл бөлімде зияткерлік желілерге қатысты ең танымал және соңғы технологиялар мен ғылыми-зерттеу жұмыстары бар.

Энергоменеджмент жүйесі.

Энергетика саласындағы маңызды міндеттердің бірі тиімділікті арттыру және энергия тұтынуды азайту болып табылады. Тиімді энергия менеджменті шараларын енгізу энергия шығындарын қысқартуға, кез келген сала кәсіпорындарының бәсекеге қабілеттілігі мен кіріс деңгейін арттыруға ықпал етеді[8].

Сенімді желі үшін барлық компоненттердің энергияны генерациялаудан тұтынуға дейін бірге жұмыс істеуі маңызды. Электр торына көптеген күрделі компоненттер қатысады. Бұл компоненттер өзара әрекеттесіп, кейбір программалық жасақтамалармен бірге жұмыс атқарады. Осылайша, жоспарлау және оны желіде жүзеге асыру өзара әрекеттесу арқылы жүзеге асырылады. Энергия менеджментін түсіну және енгізу үшін электр желісі де, тұтынушы да рөл атқаруы керек. Жетілдірілген өлшеу инфрақұрылымы (AMI), электр желісіне арналған байланыс желісі және киберқауіпсіздік сияқты технологиялар энергияны басқару жүйесін интеллектуалды желі үшін неғұрлым нақты ететін электр жүйесінде тәуелсіз шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Заттар интернеті.

Заттар интернеті әртараптандырылған желілерді, сымсыз технологиялар мен құрылғыларды біріктіруді қамтамасыз етеді. Әртүрлі құрылғылар арасында бір-бірімен тиімді қарым-қатынас жасау үшін ақылды байланыс орнатуға мүмкіндік береді. Заттар интернеті интернетті эволюцияның келесі сатысына шығарды. Интеллектуалды электр желісі мен оның компоненттерінің дамуымен осы компоненттердің тиімді, сенімді және ақылды өзара әрекеттесуі үшін технология қажет болды. Заттар интернеті интеллектуалды желілерге жаңа дәуірде аша отырып, осы сипаттамалардың барлығын толығымен толтыруға мүмкіндік береді. Бірақ бұл жаңа технологиямен қауіпсіздіктің кейбір маңызды мәселелері пайда болды, олар басқа адамға беру, деректерді жалған жасау, бюст, авторизация, құпиялылық және кибершабуылдар[9]. Зерттеушілер бұл мәселелерді зерттеуде.

Электромобильдері бар ақылды желілер.

Ең маңызды экологиялық проблемалардың бірі- көлік құралдарының әсерінен ауаның ластануы. Электр машиналарын пайдалану арқылы бұл мәселені шешуге болады. Электр желісіне қосылуға байланысты шығындарды азайтудың нақты артықшылықтары белгілі бір жерде автомобильдер электр сапасы, зарядтау уақыты және көлік түрі сияқты көптеген

факторларға байланысты. 2020 жылы жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, шығарындылар электр машиналары кәдімгі автомобильге қарағанда 30% - ға аз[10]. Электромобильдерде инфрақұрылым, байланыс және басқаруды қоса алғанда, желімен өзара әрекеттесуге байланысты бірнеше проблемалар бар. Негізінен, электромобильдер үйде зарядталады, кейде тіпті зарядтау қоғамдық немесе коммерциялық зарядтау станциясында болады.

Үлкен деректер.

Үлкен деректер-бұл көптеген көлемді және күрделі мәліметтер жиынтығын білдіретін термин, бұл қолданыстағы дәстүрлі дерекқорды басқару құралдары мен оларды өңдеуге арналған қосымшаларды қолдануға мүмкіндік бермейді. Мәселе жергілікті фрагменттерді емес, тұтас нысан сияқты жиынтықтарды жинау, тазарту, сақтау, іздеу, қол жеткізу, беру, талдау және визуализация болып табылады [11].

«Ақылды желілер» толығымен алынған мәліметтерге байланысты. Интеллектуалды желі сенімді және тиімді жұмыс істеуі үшін энергияны өндіру, беру, түрлендіру және пайдалану туралы көптеген мәліметтер жиналады. Түрлі датчиктерден, сымсыз байланыстан жиналған деректердің үлкен көлемі жинақталады. Жиналған барлық деректерді болжау үшін әртүрлі алгоритмдер қолданылады, сонымен қатар энергияны пайдалану құрылымын толық тануға көмектеседі. Сайып келгенде, бұл энергияны басқарудың интеллектуалды жүйесін құру үшін пайдалы болады. Энергетикалық үлкен деректер санауыштардан жиналған деректерді ғана емес, сонымен қатар ауа-райы мен қоршаған ортаға қатысты көптеген мәліметтерді қамтиды.

### Әлем бойынша интеллектуалды желілердің дамуы

Әлемнің әр түрлі елдері ақылды желілер дәуірінде алға қадам басып, оның шындығын қабылдады. Олардың көпшілігі интеллектуалды желінің пилоттық жобасында жұмыс істейді немесе толық ауқымды даму мен өзгерісті жасамас бұрын оның орындалуын тексеру үшін тестілеу мен зерттеу үшін осы тұжырымдаманы басшылыққа алады. Электр энергетикасын зияткерлендіру неғұрлым дамыған және жылдам дамушы экономикалардың инновациялық даму күн тәртібіне нық енді. АҚШ, Жапония, Батыс Еуропа елдері, Қытай және Үндістан «Ақылды» технологиялардың таралымын қолдау бағдарламаларын ұсынды. Технологияларға белсенді қызығушылықты Қазақстанды қоса алғанда, бірқатар басқа мемлекеттер де көрсетті.

Америка Құрама Штаттары

АҚШ 20 ғасырдың басынан бастап интеллектуалды желілерді дамытудың болашақ аймағы болып көрінеді. Федералды Саясат 2007 жылғы энергетикалық тәуелсіздік және қауіпсіздік туралы заң ретінде құрылды, ол 2008 жылдан бастап бес жыл ішінде зияткерлік желілерді дамыту және кеңейту үшін жылына 100 миллион доллар қаржыландыруды белгілейді. 2007 жылғы осы Заңға сәйкес ұлттық стандарттар және технологиялар институты желіні дамыту мен жаңғыртуға жауап береді және оның артықшылықтарына қол жеткізу үшін комиссия құрады. Сондай-ақ, ол ақылды желілердің дамуын қолдау стандарттарын қалыптастырады. 2009 жылы жаңа заң - Американы қалпына келтіру және қайта инвестициялау туралы 2009 жылғы Заң құрылды, оған сәйкес зияткерлік желінің пилоттық жобасына 11 миллиард доллар инвестицияланды. Бұл заңнаманы қабылдаудың және АҚШ үкіметінің бес түрлі штаттағы ақылды желілер мен онымен байланысты жиырма екі коммуналдық кәсіпорындардың жобаларын көрсетуге деген шешімінің нәтижесі болды. Хьюстонның интеллектуалды желісі Клиенттің веб-порталы және автоматты хабарландыру мүмкіндіктері бар толық өлшеу жүйесін жасады. Smart Texas сонымен қатар тарату желілерін автоматтандыру үшін көптеген ақылды есептегіштерді қолданады[12].

Қытай

Қытай үкіметі әр түрлі дамуды сақтау, ынталандыру, қоршаған ортаны қорғау және ішкі ресурстарға сүйену саясатына көбірек көңіл бөледі. Сондықтан «Ақылды желіні» дамыту қытай саясатының бастамаларының бірі болып табылады, оның құрамына жаңартылатын энергия

құрылымын арттыру, энергия тиімділігін арттыру және көміртегі шығарындыларын азайту кіреді. National Development and Reform Commission (NDRC) Қытай агенттігіне бес жылдық жоспардағы бастамалардың бірі ретінде интеллектуалды желілер технологияларын зерттеу және дамыту тапсырылды.

2011 жылы Қытай бес жылдық Ғаламдық мониторинг жүйесін құруды және 300 МВт-тан асатын барлық генераторлар мен 500 кВ-тан асатын қосалқы станцияларда векторлық өлшеу блоктарын енгізуді жоспарлады[13].

#### Европа

2005 жылдың басында Еуропалық Одақ интеллектуалды желілер технологиясын дамыту үшін Еуропалық технологиялық платформаны (ETP) құрды. Оның мақсаты Еуропалық электр желілерін 2020 жылға дейін дамыту туралы көзқарасты алға жылжыту болды. Португалия пилоттық жобада нақты уақыт режимінде зияткерлік желіні басқару және бақылау жүйесін енгізуді жүзеге асырды. Италия ақылды желілерді зерттеу мен дамытуда маңызды рөл атқарады. Зияткерлік тарату желісін таңдау, бағалау, реттеу және жабдықтауға байланысты әртүрлі пилоттық жобалар әзірленуде. Генуя университеті бірнеше буынды микро желінің оңтайлы жұмысын математикалық модельдеу бойынша жұмыс істейді, бұл ауқымды өлшеулерді алға жылжыту жолындағы қадам болып табылады[14].

#### Үндістан

Үндістан желінің сенімділігі мен өнімділігін арттыру және экономикалық, техникалық және әлеуметтік дамуды қолдау мақсатында «Ақылды желі ұлттық миссиясы», «Үндістан үшін «Ақылды желі» көру және жол картасы», «Неру Ұлттық күн миссиясы» және т.б. сияқты түрлі бастамаларды дамытуда. Соңғы онжылдықта өкілдер саны жылына 25% - ға өсті. Үндістанның POWER GRID корпорациясы Пудучерриде «Ақылды желі» пилоттық жобасын әзірлеу туралы бастама көтерді[15]. Бұл жобаның мақсаты-Тарифтердің дамуы үшін технологияның тиімділігін, саясаттың тиімділігін және нормативтік-құқықтық базаны көрсету, әртүрлі технологияларды стандарттауға және өзара әрекеттесуге үлес қосу, желіні өлшеу, жаңа құрылғылар арқылы зарядталатын электромобильдерді енгізу және т. б

#### Қазақстан

Бүгінгі таңда Қазақстанда өндірілетін электр энергиясының басым бөлігі орталықтаңдырылған генерация объектілеріне тиесілі. Қазақстандағы электр станцияларының көпшілігі табиғи газбен, көмірмен немесе мұнай өнімдерімен жұмыс істейді. Қазақстан пайдалы қазбалардың әртүрлілігі мен саны бойынша әлемдік көшбасшылардың қатарына кіретінін ескере отырып, алдағы онжылдықтарда энергия ресурстарының тапшылығы туралы алаңдауға болмайды. Алайда, қазба шикізатының едәуір қорының болуына қарамастан, бұл ресурстардың шектеулі екенін және олардың сарқылуы тек уақыт мәселесі екенін ұмытпау керек. Бұдан басқа, Қазақстан аумағындағы генерациялайтын станциялардың басым бөлігі Кеңес дәуірінің мұрасы болып табылады, онда ерте ме, кеш пе істен шығатын ескірген және тозған жабдықтар пайдаланылады. Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерінің (ЖЭК) қуатын арттыру өте ақылға қонымды және көреген шешім болып табылады, әрине, Үкіметтің 2030 жылға қарай баламалы энергия көздерінің үлесін 30% - ға дейін ұлғайту жөніндегі өршіл жоспарлары, [16] біздің еліміздегі осы саланың қазіргі жай-күйін ескере отырып, үлкен және негізделген күмән туғызады. Климаттық және географиялық жағдайларды ескере отырып, біздің Республикамыз үшін ЖЭК-тің аса перспективалы бағыттары жел энергиясы, күн энергиясы, әсіресе оңтүстік және батыс өңірлерде, гидроэнергетика, биогаз энергиясы болып табылады.

Қазақстанда «Ақылды желіні» енгізумен «KEGOC» АҚ айналысады, оның жоспарында – белсенді-бейімделген желі құру, нәтижесінде ол елдің зияткерлік энергия жүйесінің өзегі болуы тиіс. Қазіргі уақытта ұлттық оператор Болашақ ақпараттық жүйенің жекелеген элементтерін - релелік қорғау және автоматика микропроцессорлық құрылғыларын, диспетчерлік және технологиялық басқару жүйелерін (SCADA), электр энергиясын коммерциялық есепке алудың автоматты жүйелерін (ЭКЕАЖ), басқарылатын 500 кВТ шунттаушы реакторларды, сондай-ақ

фазалық бұрылатын трансформаторларды енгізуде[17].

### Қорытынды

Интеллектуалды желілерді дамыту үшін көптеген зерттеулер жүргізілуде. Дегенмен, интеллектуалды желінің әртүрлі салаларында әр түрлі аспектілерді болашақ зерттеу үшін үлкен әлеует бар. Бұған болжау, энергия ағынын оңтайландыру, байланыс, микрожүйені біріктіру, сұраныс пен энергияны басқару жүйесі, үйлесімділік стандарттарына сәйкестік, масштабталу, экономикалық факторлар, деректерді шифрлау және ең бастысы генерацияны, беруді және таратуды автоматтандыру кіреді.

Технологиялар мен құрылғылардың дамуы энергияны үнемді және экологиялық таза түрде өзгерте алады. «Ақылды желі» тұжырымдамасының эволюциясы болашақ энергияны пайдалану қажеттіліктерін көміртегі шығарындыларын азайту және жаңартылатын энергия балансымен біріктіру арқылы жақсы қанағаттандыруға мүмкіндік береді. Бұл электр энергиясының сенімділігін, тиімділігі мен сапасын арттыру арқылы энергияны пайдалануға қатысты әдеттегі желі мен тұтынушылардың мінез-құлқындағы айтарлықтай өзгерістерге әкелуі мүмкін. «Ақылды желілерді» енгізуді жеңілдету үшін мемлекеттік саясат қажет. Бұл мақалада қарапайым желілерді жаңарту қажеттілігі және зерттеушілер тарату желілері үшін ақылды желілер тұжырымдамасын қалай жүзеге асыратындығы көрсетілген. Алайда, бұл тұжырымдаманы жақсарту және жүзеге асыру үшін үлкен әлеует бар, өйткені бұл қазіргі заманғы электр желісінің жаңа дәуірінің бастамасы ғана. Осы тұжырымдаманы толық жүзеге асыру үшін зияткерлік желілерді зерттеу қаншалықты қажет болатындығын болжау әлі де қиын, бірақ ақылды есептегіштер, сұранысты басқару жүйелері, өзін-өзі реттеу және үлкен деректер сияқты соңғы зерттеулер «Ақылды желілік» технологияны қолдау көзі болып табылады.

### Әдебиеттер тізімі

1. Gharaibeh A., Salahuddin M.A., Hussini S.J., Khreishah A., Khalil I. Smart Cities: A Survey on Data Management, Security and Enabling Technologies // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2017. – Vol. 19. – P. 99.
2. Kabalci E., Kabalci Y. Introduction to smart grid architecture. Smart Grids and Their Communication Systems, Part of the Energy Systems in Electrical Engineering book series. – Springer, 2019. - 3-45 p.
3. Список стран по эмиссии CO2. [Электрон. ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 1.11.2021).
4. Nafi N.S., Ahmed K., Gregory M.A., Datta M. A Survey of smart grid architectures, applications, benefits and standardization // Journal of Network and Computer Applications. – 2016. – Vol. 76. - P. 23-36.
5. Werbos P.J. Computational intelligence for the smart grid-history, challenges, and opportunities // IEEE Computational Intelligence Magazine. – 2011. – Vol. 6. – P. 14-21.
6. Buchholz B.M., Styczynski Z.A. Vision and Strategy for the Electricity Networks of the Future // Smart Grids. – 2020. – P. 1-17.
7. Sadiku M.N.O., Musa S.M., Nelatury S.R. Smart grid—An introduction // International Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2016. – Vol. 7. – P. 45-49.
8. Система энергоменеджмента. [Электрон. ресурс]. – URL: <https://www.zakon.kz/4888475-sistema-energomenedzhmenta-po-st-rk-iso.html> (дата обращения: 1.12.2020).
9. Tanwar S., Tyagi S., Kumar S. The role of internet of things and smart grid for the development of a smart city // Intelligent Communication and Computational Technologies. – 2018. – Vol. 19 – P. 23-33.



10. Манакова О.С. Актуальные проблемы интеграции науки и образования // Влияние Электромобилей На Энергетику. – Бузулук, 2021.

11. Николаев А.В., Прокофьев О.В., Тюрин М.В., Токарев А.Н. Большие данные для нового качественного уровня электроэнергетики // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2018. – Т. 2. – С. 102-104.

12. Кобец Б.Б. Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. - М.: ИАЦ Энергия, 2010. - 208 с.

13. Zhou L., Chen J., Huang J. Research on Smart Grid analysis based on informatization // IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics. – 2012. - Vol. 21. – P. 171-178.

14. Dehdarian A., Tucci C.L. A complex network approach for analyzing early evolution of smart grid innovations in Europe // Elsevier. Applied Energy. – 2021. - Vol. 298. – P. 117143.

15. Kovendan A.K.P., Sridharan D. Development of smart grid system in India: a survey // Proceedings of the International Conference on Nano-electronics, Circuits & Communication Systems. – 2017. - Vol. 403. - P. 275-285.

16. Обзор государственной политики Республики Казахстан в области энергосбережения и повышения энергоэффективности. [Электрон. ресурс] – URL: [https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/EE-Kazakhstan\\_2014\\_ru.pdf](https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/EE-Kazakhstan_2014_ru.pdf) (дата обращения: 1.11.2021).

17. В Казахстане строят «умную» электроэнергетику. [Электрон. ресурс] – URL: <https://kursiv.kz/news/biznes/2019-11/v-kazakhstane-stroyat-umnuyu-elektroenergetiku> (дата обращения: 1.11.2021).

**Г.Б.Толегенова<sup>1</sup>, В.А.Жмудь<sup>2</sup>, А.Б.Закирова<sup>1</sup>, М.Н.Калимолдаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Международный университет Астана, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

### **Технология умных сетей. Перспективы развития электрических сетей**

**Аннотация.** Параллельно с развитием технологий, стремительно возрастает необходимость в электроэнергии, важным вопросом становится не только производство, но и энергораспределение. Следственно прогрессирующий спрос на надёжность, продуктивность, безопасность, экологичность и энергетическую стабильность, нагромождают схемы электрических сетей. Они создают интеллектуальную энергетическую систему, которая сегодня общеизвестна как концепция "умных сетей". В данной статье был представлен обзор «Умных сетей» с их особенностями и различными аспектами в сфере распределения электроэнергии. Рассмотрены интеллектуальные электрические сети и их развитие. Кроме того, данная статья посвящена анализу интеллектуальных электрических сетей, преимуществам их внедрения в повседневную жизнь потребителей. Было рассмотрено перспективы этапов развития «Умных сетей» в большинстве стран мира, а также некоторые зарубежные проекты, которые направлены на повышение энергоэффективности и функционирования умных электрических сетей.

**Ключевые слова:** Интеллектуальная сеть, Автоматизация, управление энергией, распределение, интернет вещей, большие данные.

G.B.Tolegenova<sup>1</sup>, V.A.Zhmud<sup>2</sup>, A.B.Zakirova<sup>1</sup>, M.N.Kalimoldayev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

### Smart Grid technology. Prospects for the development of electric networks

**Annotation.** In parallel with the development of technology, the need for electricity is rapidly increasing, and not only production, but also energy distribution is becoming an important issue. Consequently, the progressive demand for reliability, productivity, safety, environmental friendliness and energy stability is piling up the circuits of electrical networks. They are creating an intelligent energy system, which is now commonly known as the concept of "smart grids". This article presents an overview of «Smart Grids» with their features and various aspects in the field of electricity distribution. Intelligent electrical networks and their development are considered. In addition, this article is devoted to the analysis of intelligent electrical networks, the advantages of their introduction into the daily lives of consumers. The prospects of the stages of development of «Smart grids» in most countries of the world were considered, as well as some foreign projects aimed at improving energy efficiency and the functioning of smart electric networks.

**Keywords:** Intelligent network, Automation, energy management, distribution, Internet of Things, big data.

### References

1. Gharaibeh A., Salahuddin M.A., Hussini S.J., Khreishah A., Khalil I. Smart Cities: A Survey on Data Management, Security and Enabling Technologies, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19, 99 (2017).
2. Kabalci E., Kabalci Y. Introduction to smart grid architecture. Smart Grids and Their Communication Systems, Part of the Energy Systems in Electrical Engineering book series (Springer, 2019, 3-45 p.).
3. Spisok stran po emissii CO2 [List of countries by CO2 emissions]. [Electronic resource] - Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (Accessed: 1.11.2021).
4. Nafi N.S., Ahmed K., Gregory M.A., Datta M. A Survey of smart grid architectures, applications, benefits and standardization, Journal of Network and Computer Applications, 76, 23-36 (2016).
5. Werbos P.J. Computational intelligence for the smart grid-history, challenges, and opportunities, IEEE Computational Intelligence Magazine, 6, 14 – 21 (2011).
6. Buchholz B.M., Styczynski Z.A. Vision and Strategy for the Electricity Networks of the Future, Smart Grids, 1-17 (2020).
7. Sadiku M.N.O., Musa S.M., Nelatury S.R. Smart grid – An introduction, International Journal of Electrical Engineering & Technology, 7, 45-49 (2016).
8. Sistema energomenedzhmenta [Energy management system]. [Electronic resource] - Available at: <https://www.zakon.kz/4888475-sistema-energomenedzhmenta-po-st-rk-iso.html> (Accessed: 1.12.2020).
9. Tanwar S., Tyagi S., Kumar S. The role of internet of things and smart grid for the development of a smart city, Intelligent Communication and Computational Technologies, 19, 23-33 (2018).



10. Manakova O.S. Aktual'nye problemy integracii nauki i obrazovaniya // Vliyanie Elektromobilej Na Energetiku [Actual problems of integration of science and education // Influence of Electric Vehicles on Energy], Buzuluk, 2021.

11. Nikolaev A.V., Prokof'ev O.V., Tyurin M.V., Tokarev A.N. Bol'shie dannye dlya novogo kachestvennogo urovnya elektroenergetiki, Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo» [Big data for a new qualitative level of the electric power industry, Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"], 2, 102-104 (2018). [in Russian]

12. Kobec B.B. Volkova I.O. Innovacionnoe razvitie elektroenergetiki na baze koncepcii Smart Grid [Innovative development of the electric power industry based on the Smart Grid concept] (Moscow: IAC Energy, 2010, 208 p.). [in Russian]

13. Zhou L., Chen J., Huang J. Research on Smart Grid analysis based on informatization, IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 21, 171-178 (2012).

14. Dehdarian A., Tucci C.L. A complex network approach for analyzing early evolution of smart grid innovations in Europe, Elsevier. Applied Energy, 298, 117143 (2021).

15. Kovendan A.K.P., Sridharan D. Development of smart grid system in India: a survey, Proceedings of the International Conference on Nano-electronics, Circuits & Communication Systems, 403, 275-285 (2017).

16. Obzor gosudarstvennoj politiki Respubliki Kazahstan v oblasti energosberezheniya i povysheniya energoeffektivnosti [Review of the state policy of the Republic of Kazakhstan in the field of energy saving and energy efficiency]. [Electronic resource] - Available at: [https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/EE-Kazakhstan\\_2014\\_ru.pdf](https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/EE-Kazakhstan_2014_ru.pdf) (Accessed: 1.11.2021).

17. V Kazahstane stroyat «umnuyu» elektroenergetiku [Kazakhstan is building a "smart" electric power industry]. [Electronic resource] - Available at: <https://kursiv.kz/news/biznes/2019-11/v-kazahstane-stroyat-umnuyu-elektroenergetiku> (Accessed: 1.11.2021).

#### **Авторлар туралы мәліметтер:**

*Толегенова Г.Б.* - Астана Халықаралық университетінің 2 курс докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Жмудь В.А.* - техника ғылымдарының докторы, Новосибирск мемлекеттік техникалық университетінің профессоры, Новосибирск, Ресей.

*Закирова А.Б.* - педагогика ғылымдарының кандидаты, Астана Халықаралық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Калимолдаев М.Н.* - ф.-м.ғ.д., профессор, Астана Халықаралық университеті, Қазақстан

*Tolegenova G.B.* - 2nd year PhD student of Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Zhmud V.A.* - Doctor of Technical Sciences, Professor of Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

*Zakirova A.B.* - Candidate of Pedagogical Sciences, Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Kalimoldayev M.N.* - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

## Разработка цифровой образовательной платформы с использованием технологий дополненной реальности и геймификации обучения для активизации учебно-познавательной деятельности обучающихся в процессе изучения предмета

**Аннотация.** На сегодняшний день технологии виртуальной и дополненной реальности пользуются наибольшей популярностью в области образования. В данной работе приводится анализ и пример разработки цифровой образовательной платформы, приводятся результаты опроса среди обучающихся и проблемные моменты с которыми сталкивались в процессе реализации. Продемонстрированы этапы разработки одного из основных элементов цифровой образовательной платформы – виртуальной лаборатории. Виртуальная лаборатория была разработана для проведения дисциплины «Электрические машины», где была разработана трехмерная графическая модель лабораторного стенда, который использовался в традиционном режиме обучения. Разработанная виртуальная лаборатория может помочь обучающимся технической специальности приблизиться к устройствам и технологиям, разобраться и понять их структуру и работу в целом, а также будет способствовать развитию их профессиональных навыков.

**Ключевые слова:** Цифровой Казахстан, геймификация, дополненная реальность, виртуальная лаборатория, образование.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-39-47](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-39-47)

### Введение

В последние годы практическое обучение обучающихся очень волнует будущих работодателей. Нехватка базовых практических навыков может затруднить процесс трудоустройства. К примеру, обучающиеся технического направления должны уметь работать с базовыми электрическими приборами. В интернет пространстве очень множество разнообразных платформ с интерактивными методами обучения, но не каждое учебное заведение может использовать их в зависимости от индивидуальности образовательной программы и их результатов обучения. В режиме дистанционного образования цифровые образовательные начали активно использовать технологии виртуальной и дополненной реальности. Виртуальная реальность использует компьютерное моделирование и симуляцию, позволяющая обучающимся взаимодействовать с трехмерными объектами в режиме реального времени в сенсорной среде. За последние года виртуальная реальность позволила визуализировать, взаимодействовать с моделируемыми объектами в трехмерном пространстве близкому к реалии. Технология дополненной реальности создает иллюзию объединения реального мира с моделированными объектами, которые могут сосуществовать в той же пространстве, что и реальный мир. Целью данной работы была разработка составляющего элемента цифровой образовательной платформы – виртуальной лаборатории для обучающихся технического направления.

### Обоснование актуальности исследования

Применение инновационных IT технологий остается одной из актуальных и важных задач, стоящих перед образованием в эпоху цифровизации современного общества.

Научная значимость обусловлена применением глубоких, современных математических результатов и созданием новых собственных методов исследования и анализа, а также разработкой образовательной платформы основываясь на примере одного раздела дисциплины и использование новейших технологий дополненной реальности и геймификации в образовательном процессе.

В настоящее время преподавателю доступен широкий спектр образовательных ресурсов, к ним относятся учебные платформы (например, Blackboard Learning System, Desire2Learn, eCollege, Edmodo, EduNxt, Engrade, GlobalScholar, HotChalk, ISpring, JoomlaLMS, Kannu, Latitude Learning LLC, Moodle, SAP, Schoology, Skillsoft, Spongelab, SSLearn, SuccessFactors, SumTotal Systems, Taleo, Teachable, Uzity, Vitalect, WizIQ), площадки с массовыми открытыми курсами (Coursera, edX, FutureLearn, The Open University, Harvard Open Courses, Udacity, Miriada X, Open Education by Blackboard, EduOpen, OpenLearning, UPV, MOOC-ED, Универсариум, Лекториум), вебинарные площадки (E-tutorium.ru, Webinar.ru, Ispring.ru, Virtualroom.com, Mirapolis, My own Conference, Imind, Expert System, Wiziq.com, Dimdim.com, Gotomeeting.com и другие). Указанные порталы призваны обеспечить сетевое взаимодействие обучающихся с обучаемыми. При этом часто обучающиеся сталкиваются с определенными трудностями, осуществляя учебную деятельность посредством образовательных платформ. Разработанные специально для учебного процесса площадки позволяют создать особое пространство для образовательной деятельности, несколько обособленное от общего коммуникативного пространства студента, что способствует формированию своего рода границы между учебной и прочей деятельностью учащегося как между «скучной, обязательной» и «развлекательной» сферами.

Одним из актуальных направлений развития образовательных технологий является геймификация. Видео игры являются доминирующей формой развлечения нашего времени, именно поэтому они являются мощным инструментом для мотивации нового поколения студентов. Геймификация - использование игровых элементов и игровых механик в неигровом контексте [1]. Геймификация - это использование игровых элементов и игрового мышления в неигровом окружении для усиления целевого поведения и вовлечения [2].

В литературах исследования по геймификации показано, что она эффективна с точки зрения привлечения и мотивации людей для управления поведением и достижением желаемых результатов [3,4]. Есть растущий интерес к использованию геймификации в образовании; многие педагоги пытались применить свою концепцию к учебной деятельности. Кроме того, было проведено несколько исследований в данном направлении, для того, чтобы показать потенциал геймификации в преподавании и обучении. Тем не менее, все еще существует необходимость для большего количества исследований, которые сообщают о последствиях применения геймификации в обучении [5].

Виртуальную лабораторию можно рассматривать как интерактивную площадку, где можно проводить различные эксперименты. При сравнении с обычной лабораторией, для ее расширения, путем добавления новых объектов требуется вмешательство разработчиков и программистов. Традиционно, виртуальная лаборатория создается на основе технического задания с ограниченным количеством экспериментов. В настоящее время виртуальная лаборатория является популярной формой учебного пособия в различных учебных ситуациях [6,7].

Разработка виртуальной лаборатории является комплексной задачей, требующая профессиональных навыков различных областей, таких как пользовательский дизайн, визуализация, методика преподавания [8-10]. Может состоять из нескольких этапов, которые могут выполняться как параллельно, так и последовательно: создание трехмерных моделей, сцен, программирование и анимация [11].

## Разработка цифровых инструментов

Выбор средств для разработки одной из составляющей цифровой платформы - виртуальной лаборатории играет очень важную роль. В зависимости от функций выбранного инструмента и пользовательского интерфейса, выбранный инструмент может расширить, либо ограничить возможности разрабатываемого продукта. Наряду с этим интерактивность так же занимает очень важную нишу при разработке виртуальной лаборатории. На сегодняшний день существует множество разнообразных интерактивных учебных материалов. Обучающийся может преодолеть трудности и с помощью предложенной анимации разобраться в предлагаемом материале [12].

Для разработки виртуальной лаборатории цифровой образовательной платформы были использованы инструментальные средства:

- Unity 3D – в настоящем проекте использован для создания трехмерных объектов;
- Play Maker – визуальные скрипты для Unity, которые помогают реализовать визуальные сценарии;
- Cinema 4D – дает возможность подготовки моделей и реализации анимаций;
- Vuforia – среда которая помогает реализовать приложение с элементами дополненной реальности в режиме реального времени.

В результате проведенных работ была разработана виртуальная лаборатория для дисциплины «Электрические машины» (Рисунок 1).

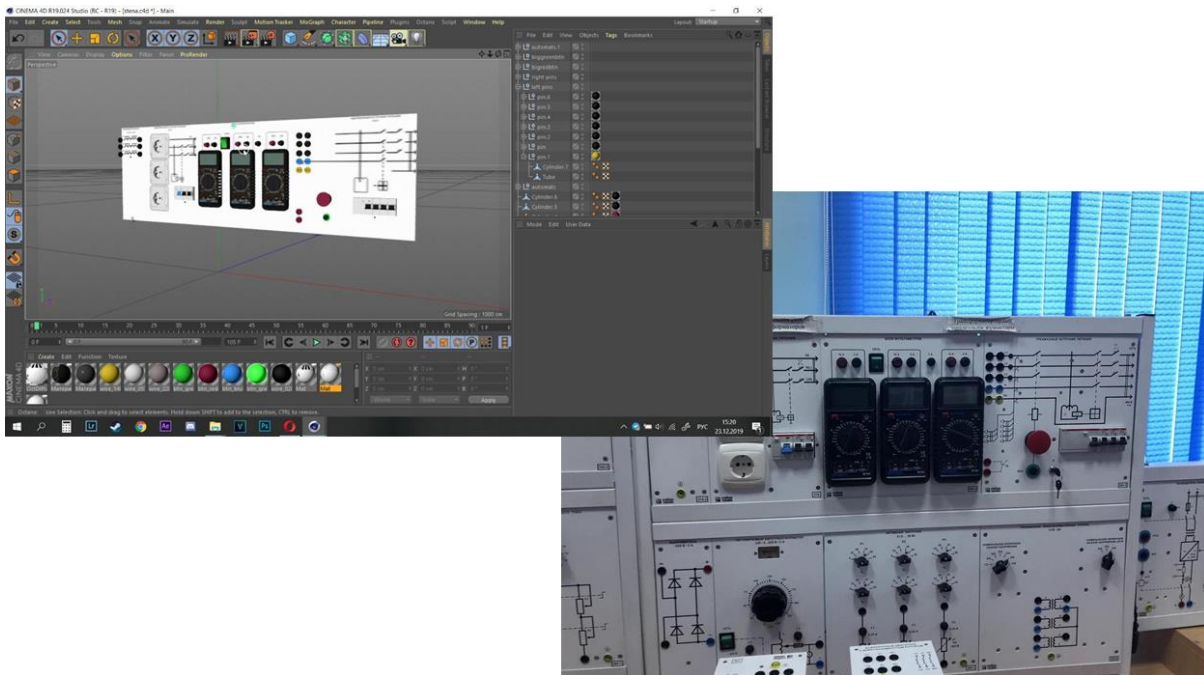
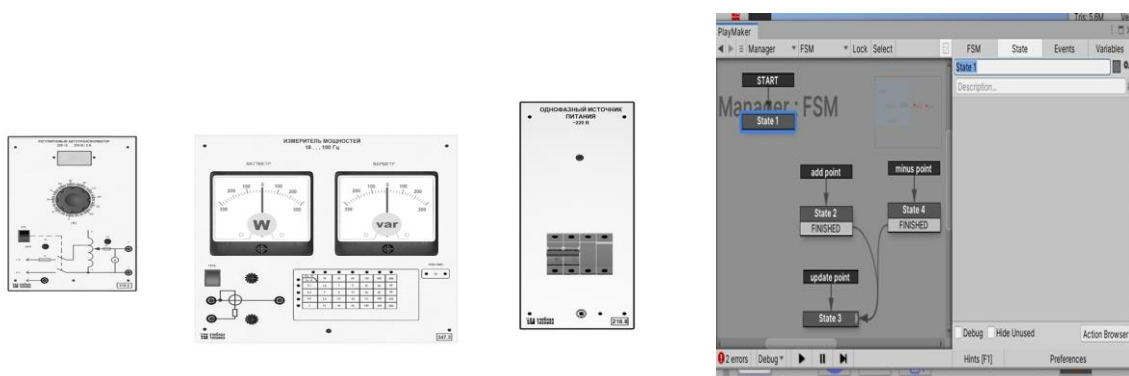


Рисунок 1. Виртуальная версия и оригинальный вариант Лабораторного стенда

Алгоритм разработки виртуальной лаборатории изображен на рисунке 2.



а) Создание трехмерных моделей объектов

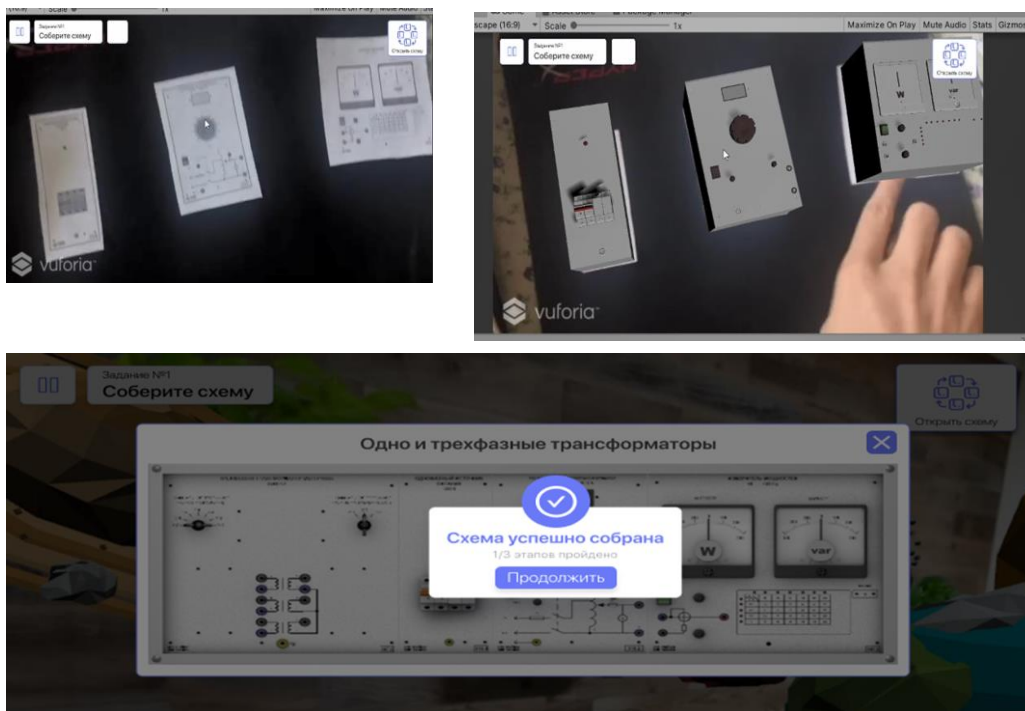
б) реализация трехмерных сцен



в) моделирование для приложений с дополненной реальностью

**Рисунок 2. Этапы реализации виртуальной лаборатории**

В результате было реализовано виртуальная лаборатория с элементами технологии дополненной реальности (Рисунок 3)



**Рисунок 3. Сцены использования виртуальной лаборатории**

### Тестирование

В качестве фокус группы была выбрана одна академическая группа, которая изучала дисциплину «Электрические машины», среди которых было проведено открытое анкетирование. Результат анализа анкет по использованию цифровой образовательной платформы среди студентов на этапе исследования приведена в таблице 1.

**Таблица 1**

**Анализ анкет обучающихся по использованию цифровой образовательной платформы**

Критерии	Наименование индикатора	Интервал	Реакция
Обратная связь обучающегося	Использовать виртуальную лабораторию в учебном процессе	86,4	Положительно
	Использовать учебные материалы	75,4	Положительно
	Устный ответ	80,2	Положительно
	Использовать презентацию	83,7	Положительно
Реакция обучающегося	Все абсолютно понятно при использовании виртуальной лаборатории в обучении	80,38	Положительно
	Большинство материалов понятно при использовании виртуальной лаборатории в обучении	76,49	Положительно
	Половина материалов не понятно при использовании виртуальной лаборатории в обучении	79,71	Положительно
	Реакция студентов на использование виртуальной лаборатории	80,3	Положительно

При проектировании цифровой образовательной платформы было множество спорных моментов, основные из которых приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

**Перечень вопросов при проектировании цифровой платформы**

Перечень вопросов	Описание
Ограниченность ресурсов	Ограничение средств для реализации и масштабирования
Исследовательское взаимодействие	Доступность содержания лабораторного оборудования
Реализация и точность	Поиск реализации в зависимости от целевой группы



Точная копия или улучшенная лаборатория	Лаборатория имитирующая реальную обстановку либо расширенная лаборатория
Самостоятельное подведение итогов по сравнению с оценивание педагога	Вопрос по использованию виртуальной лаборатории, целевой аудиторией могут быть любые желающие, либо она рассчитана для использования в конкретной учебной дисциплине в качестве демонстрационного оборудования

### Заключение

В целом, результаты исследования демонстрируют, что виртуальная лаборатория может выступать в качестве инструментария, который обеспечивает получение практических знаний и освоения запланированных результатов обучения. Вместе с этим, опрос среди студентов так же показал положительное отношение использования виртуальной лаборатории в процессе обучения. Ожидается, что дальнейшее расширение и совершенствование предлагаемой виртуальной лаборатории повысит его эффективность в обучении, поскольку элементы технологий виртуальной и дополненной реальности постоянно расширяются. Перечисленные технологии могут положительно отразиться в процессе освоения планируемых результатов обучения, основанные на непосредственном взаимодействии с моделируемыми объектами. Считаем, что исследования в данном направлении являются важными и нужно продолжить работу в виде расширения функций.

### Список литературы

1. Вербак К. Вовлекай и властвуй. Игровое мышление на службе бизнеса. - М.: Манн, Иванов и Фербер. - 2015. -223 с.
2. Геймификация – новый тренд интернет маркетинга <http://contentmarketingpro.ru/gamification/gejmifikaciya-novyj-trend-internet-marketinga/> (дата обращения 19.10.2021).
3. Caton Hope, Greenhill Darrel. Rewards and Penalties: A Gamification Approach for Increasing Attendance and Engagement in an Undergraduate Computing Module // International Journal of Game-Based Learning - 2014. - №4. - P. 1-12.
4. Cheong Christopher, Filippou Justin, Cheong France. Towards the Gamification of Learning: Investigating Student Perceptions of Game Elements // Journal of Information Systems Education - 2014. - № 25.- P. 233.
5. Borges Simone, Durelli Vinicius, Reis Helena, Isotani Seiji. A Systematic Mapping on Gamification Applied to Education // Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing - 2014.
6. Orobor Ise, Elohor Orobor. A Review of Virtual Laboratory and Justification for Adoption in Nigeria Tertiary Educational Institutions - 2020. №8. - P.47-53.
7. Stahre Wästberg, B., Eriksson, T., Karlsson, G. et al. Design considerations for virtual laboratories: A comparative study of two virtual laboratories for learning about gas solubility and colour appearance // Education and Information Technologies. – 2019. - №24, P. 2059–2080.
8. Santamaria-Bonfil, G.; Ibanez, M.B.; Perez-Ramirez, M.; Arroyo-Figueroa, G.; Martinez-Alvarez, F. Learning analytics for student modeling in virtual reality training systems: Lineworkers case // Computers and Education. -2020. - №151, P.103871.
9. El Bedewy, S.; Haas, B.; Lavicza, Z. Architectural Models Created with Mixed Reality

Technologies towards a New STEAM Practice; Department of Education, Johannes Kepler University: Linz, Austria. - 2021.

10. Stark, E.; Kucera, E.; Haffner, O.; Drahos, P.; Leskovsky, R. Using Augmented Reality and Internet of Things for Control and Monitoring of Mechatronic Devices // *Electronics*. – 2020. №9, P.1272.

11. Hwang, G.J.; Wu, P.H.; Chen, C.C.; Tu, N.T. Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations // *Interactive Learning Environments*. -2016. - №24. P.1895–1906.

12. UNITY. UNITYLabs. [электронный ресурс] // режим доступа: <https://unity.com> (Дата обращения 18 октября 2021 г).

**Адамова А.Д.<sup>1</sup>, Жукабаева Т.К.<sup>2</sup>, Ху Вен-Цен<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Astana IT University, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

<sup>2</sup> *«Астана» халықаралық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

<sup>3</sup> *М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан*

**Пәнді оқыту барысында білім алушылардың оқу-танымдық қызметін жандандыру үшін толықтырылған нақтылық және оқытуды геймификациялау технологияларын пайдалана отырып, цифрлық білім беру платформасын әзірлеу**

**Аңдатпа.** Бүгінгі таңда Виртуалды және кеңейтілген шындық технологиялары білім беру саласында ең танымал. Мақалада сандық білім беру платформасын әзірлеудің талдауы мен мысалы келтірілген, білім алушылар арасындағы сауалнама нәтижелері және іске асыру процесінде кездескен проблемалық мәселелер келтірілген. Цифрлық білім беру платформасының негізгі элементтерінің бірі – виртуалды зертхананың даму кезеңдері көрсетілді. Виртуалды зертхана "электр машиналары" пәнін өткізуге арналған, онда дәстүрлі оқыту режимінде қолданылатын зертханалық стенд моделі енгізілді. Әзірленген виртуалды зертхана техникалық мамандық білім алушыларына құрылғылар мен технологияларға жақындауға, олардың құрылымын және жалпы жұмысын түсінуге және түсінуге көмектеседі, сондай-ақ олардың кәсіби дағдыларын дамытуға ықпал етеді.

**Түйін сөздер:** цифрлық Қазақстан, геймификация, толықтырылған шынайылық, виртуалды зертхана, білім беру.

**A.D. Adamova<sup>1</sup>, T.K. Zhukabayeva<sup>2</sup>, Khu Ven-Tsen<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

<sup>2</sup> *Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

<sup>3</sup> *M. Auezov South-Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan*

**Development of a digital educational platform using augmented reality and gamification technologies to intensify learning and cognitive activities of students in the course of studying the subject**

**Abstract.** Today, virtual and augmented reality technologies are most popular in the field of education. This article provides an analysis and example of the development of a digital educational platform, the results of a survey among students, and the problem points encountered in the process of implementation. There are demonstrated stages of development of one of the main elements of the digital educational platform - a virtual laboratory. The virtual laboratory was developed for the discipline "Electrical machines". There was realized the model of the laboratory bench, which was used in the traditional mode of teaching. The developed virtual laboratory can help technical students to get closer to the devices and technologies, to understand their structure and operation as a whole,

and will also contribute to the development of their professional skills.

**Keywords:** Digital Kazakhstan, gamification, augmented reality, virtual laboratory, education.

## References

1. Verbakh K. Vovlekaj i vlvstvuj. Igrovoe my`shlenie na sluzhbe biznesa. - M.: Mann, Ivanov i Ferber. - 2015. -223 s.
2. Gejmifikacziya – novy`j trend internet marketinga <http://contentmarketingpro.ru/gamification/gejmifikaciya-novyj-trend-internet-marketinga/> (data obrashheniya 19.10.2021).
3. Caton Hope, Greenhill Darrel. Rewards and Penalties: A Gamification Approach for Increasing Attendance and Engagement in an Undergraduate Computing Module // International Journal of Game-Based Learning - 2014. - №4. - P. 1-12.
4. Cheong Christopher, Filippou Justin, Cheong France. Towards the Gamification of Learning: Investigating Student Perceptions of Game Elements // Journal of Information Systems Education - 2014. - №25.- P. 233.
5. Borges Simone, Durelli Vinicius, Reis Helena, Isotani Seiji. A Systematic Mapping on Gamification Applied to Education // Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing - 2014.
6. Orobor Ise, Elohor Orobor. A Review of Virtual Laboratory and Justification for Adoption in Nigeria Tertiary Educational Institutions - 2020. №8. - P.47-53.
7. Stahre Wästberg, B., Eriksson, T., Karlsson, G. et al. Design considerations for virtual laboratories: A comparative study of two virtual laboratories for learning about gas solubility and colour appearance // Education and Information Technologies. – 2019. - №24, P. 2059–2080.
8. Santamaria-Bonfil, G.; Ibanez, M.B.; Perez-Ramirez, M.; Arroyo-Figueroa, G.; Martinez-Alvarez, F. Learning analytics for student modeling in virtual reality training systems: Lineworkers case // Computers and Education. -2020. - №151, P.103871.
9. El Bedewy, S.; Haas, B.; Lavicza, Z. Architectural Models Created with Mixed Reality Technologies towards a New STEAM Practice; Department of Education, Johannes Kepler University: Linz, Austria. - 2021.
10. Stark, E.; Kucera, E.; Haffner, O.; Drahos, P.; Leskovsky, R. Using Augmented Reality and Internet of Things for Control and Monitoring of Mechatronic Devices // Electronics. – 2020. №9, R.1272.
11. Hwang, G.J.; Wu, P.H.; Chen, C.C.; Tu, N.T. Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations // Interactive Learning Environments. -2016. - №24. P.1895–1906.
12. UNITY. UNITYLabs. [e`lektronny`j resurs] // rezhim dostupa: <https://unity.com> (Data obrashheniya 18 oktyabrya 2021 g).

## Сведения об авторах:

**Адамова Айгуль Дюсенбиновна** – PhD по специальности Вычислительная техника и программное обеспечение, руководитель центра карьеры и трудоустройства ТОО “Astana IT University”, Нур-Султан, Казахстан.

**Жукабаева Тамара Кокеновна** - PhD по специальности Вычислительная техника и программное обеспечение, ассоциированный профессор, профессор кафедры Информационные системы Международного университета Астана, Нур-Султан, Казахстан.

**Ху Вен-Цен** - д.т.н., профессор, Высшая школа информационных технологий и энергетики, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Республика Казахстан.

**Adamova Aigul** - Ph.D. in Computer Engineering and Software, Head of the Career and Employment Center at Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Zhukabaeva Tamara Kokenovna** – Ph.D. in Computer Science and Software, Associate Professor, Professor, Department of Information Systems, Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Khu Ven-Tsen** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Higher School of Information Technologies and Energy, M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan.

Д.К. Асмагамбет\*, Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, Н.С. Малыбаев

Некоммерческое акционерное общество Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан  
\*Автор для корреспонденции: kakim08@mail.ru

## Разработка шарнирной системы поворотного конвейера

**Аннотация.** Применение методов имитационного моделирования для проектирования современных конвейеров с поворотом рештаков в плоскости поверхности транспортирования за счет системы поворотных и поворотно-поступательных шарниров осуществлено в пакете динамического программирования Adams в основе которого теория Лагранжа – Эйлера, и при использовании конечно-элементных технологий. В результате работа конвейеров теперь может быть осуществлена в 3D. Такие возможности необходимы при вводе конвейера в камеру вслед за проходческим комбайном и для транспортирования по выработкам, имеющим изгибы. Возможно применение бронированных поворотных конвейеров и при отбойке руд БВР. Методы расчета учитывают поворот рештаков конвейера в любой зоне его става на заданный угол до 150. Приводятся выражения для определения его положения в камере с учетом системы специальных проушин, расположенными по бокам рештаков. Обоснованы особенности движения комбайна как ускоренные на коротких промежутках трассы и модели поворота в камеру. В расчетных схемах работы шарниров в виде гидродомкратов выполнен учет эксцентричной нагрузки на шток, что позволяет создать шарниры с короткими оболочками у поршня и определить зоны интенсивного износа.

**Ключевые слова:** поворотный, поворотно-поступательный шарнир, скорость, ускорение, стенд, нагрузка, макет.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-48-57](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-48-57)

### Введение

Проблема поворота заключается в реакции скребка, прижимаемого к борту за счет угловых смещений цепи и рештаков, пропорциональной углу поворота, тяговому усилию, коэффициенту трения, между скребком и бортом. В результате возрастает тяговое усилие и возможны наклон и опрокидывание скребков. Но поворот става на 90°, позволяет обеспечить непрерывное транспортирование горной массы из камеры. Эффективность решения определяется малым сроком его окупаемости - до года. Для проектирования и расчета таких сложных систем, состоящих из комплекса шарниров отсутствуют эффективные конструкции и методики расчета с возможностью их использования в системах обратной связи с автоматизацией основных производственных процессов. Область применения: открыто-подземные работы, заводы и обогатительных фабриках. Камерные технологии с высокопроизводительными комбайнами и поворотными конвейерами вначале проектировались для калийных солей [1], [2]. Их разрабатывали и испытывали в КарПТИ и Гипроуглегормаше, с поддержкой ПО УралКалий. Возможно применение и при этажно-камерной системе со скважинной отбойкой руды, для перегрузки материала с участка на участок, что решается за счет маневренности и прочности техники при погрузке негабаритных кусков. Для поворота каждый рештак оснащен системой шарниров: поворотными и поворотно-поступательными, рисунок 1 и имеет натяжной рештак с гидродомкратами для натяга цепи за счет его выдвигной платформы, так как при повороте рештаков в пределах става изменяется длина цепи.

## Методы и материалы

Исследования проведены с применением пакета динамического моделирования на основе линеаризации уравнений динамики Adams и разработки моделей твердотельного моделирования, Выполнены стендовые исследования на уменьшенных и полноразмерных макетах с электро и гидроприводом, системный анализ полученных результатов и кинограмм.

## Результаты и обсуждение

Конструктивно система поворотно-поступательных шарниров ППШ выполнена так, что все рештаки могут разворачиваться в обе стороны от центральной оси на суммарный угол до 90°. Это позволяет применить системы с отработкой выемочных столбов в обе стороны от выработки, что в 2 раза уменьшает объемы проходки. Универсальная система шарниров распределена по бокам рештаков. ППШ может выполняться в комплексе с гидродомкратами или в виде стержней с отверстием под палец – ось и продольным пазом для регламентируемого углового смещения рештаков на угол до 15°. Траектория движения при повороте на заданный угол всего конвейера и отдельных рештаков однозначно определена, что позволяет рассчитывать радиусы поворота и параметры выработок. Поворотный конвейер вначале расположен в транспортной выработке параллельно её конвейеру [3] и движется вдоль него по направляющим. В зоне сечения камеры рештаки поворачиваются, следуя за комбайном. Для проектирования трассы поворота исходят из ширины выработки и камеры, их угла расположения, геометрических размеров конвейеров. Использование моделей поворота позволяет получить совершенные конструктивные схемы, а также выполнить их параметрический синтез [4],[5] в том числе и для условий лав. Для задач динамики эффективно приложение Adams [6],[7]. Модели рештаков и шарниров выполняются из примитивов Plane, Link, Culind, Box. Для каждого вводимого конструктивного элемента программой автоматически формируются данные, на языке близком к C с возможностью его корректировки, см. фрагмент:

Object Name: MODEL_1. PART_5	Orientation: 0.0, 0.0, 0.0 (deg)
Object Type: Part	Ground Part: False
Parent Type: Model	Material: MODEL_1. steel
Adams ID: 5	Material Density:7801.0 (7801.0(kg/meter**3))
Active: NO_OPINION	kg/meter**3
Global:	Calculated Mass: 936.12 kg
Location: 0.0, 0.0, 0.0 (meter, meter, meter)	.....

С учетом неравномерности перемещения комбайна [8], [9] и вращения звездочки привода моделирование их работы строится на коротких участках с приложением тягового усилия по оси движения комбайна. Наличие эффективной модели даст возможность контроля параметров работы и введения автоматизированных алгоритмов контроля системы натяжения. Движение комбайна прямолинейное. Если для проектного разворота на заданный угол понадобится п рештаков, то предельный угол поворота можно определить из рисунка 1. Выражения, полученные ранее для управления поворотом гидроцилиндрами, позволяют определить положение конвейера в камере

$$L_t = n * L_r - \Delta, \quad (5)$$



$$Ht = Lr * \sin \alpha_i * \sum_1^n Lr * (\sin \alpha_i)^{i+1}, \quad (6)$$

Здесь  $Lr$  - длина рештака;

$\alpha_i$  – угол поворота на одном рештаке;

$\Delta$ - суммарное сокращение проекции длины конвейера на ось выработки

В Adams можно задать требуемый, прямолинейный режим движения комбайна на забой под действием силы постоянно ориентированной перпендикулярно забою со свойством «Space Fixed», а через связь корпуса комбайна с рештаком протягивать конвейер за комбайном, при свободном повороте рештаков под углом  $\alpha_i$ . Суммарный же угол поворота  $\alpha = 90^\circ$  достигался продолжением движения комбайна на забой. В этом случае возможно и смещение става влево – вправо вдоль его оси. Движение и повороты рештаков можно регулировать штоками ПППШ при их выполнении в виде гидродомкратов. Рештаки также можно нагружать и распределенными вдоль бортов нагрузками и др., например, силой гравитации по осям X или Y с заданным значением  $g$ , чем, например, достигалось приближенное моделирование сопротивления движению рештаков [2], [10]. Рештаки в зоне поворота движутся по радиусу и поступательно, а у комбайна и вдоль конвейера в штреке прямолинейно. Технология Adams не требует ввода систем уравнений движения, а учитывает их, исходя из геометрической схемы, типов шарниров с установленными свойствами геометрических, массовых и инерциальных характеристик и ограничений. Поэтому уравнения пользователей в основном используются для качественного контроля результатов, выдаваемых программой.

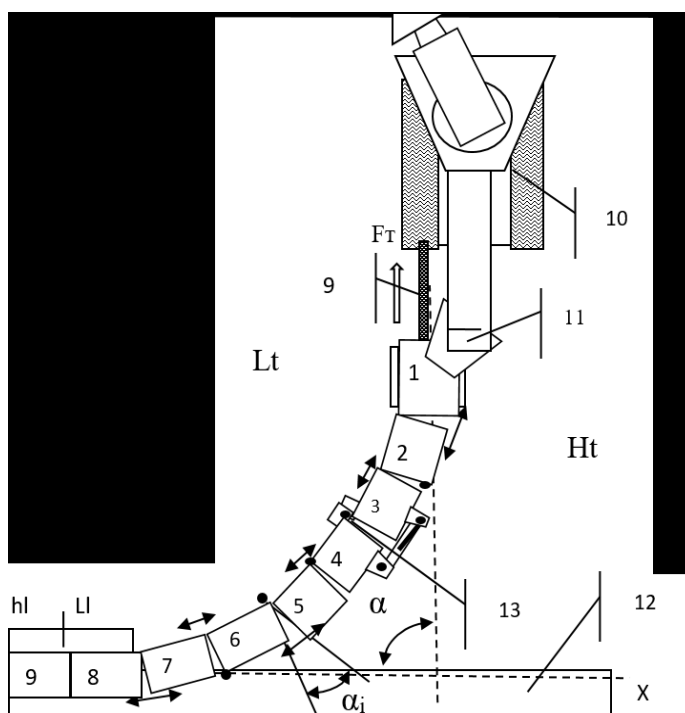


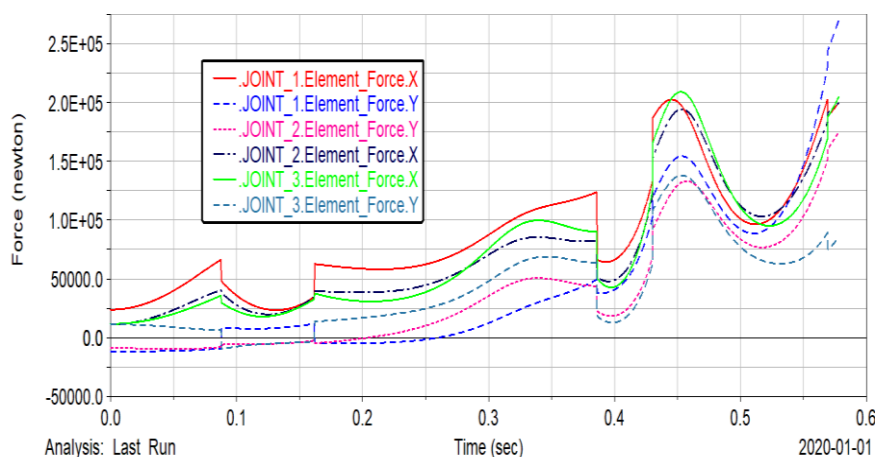
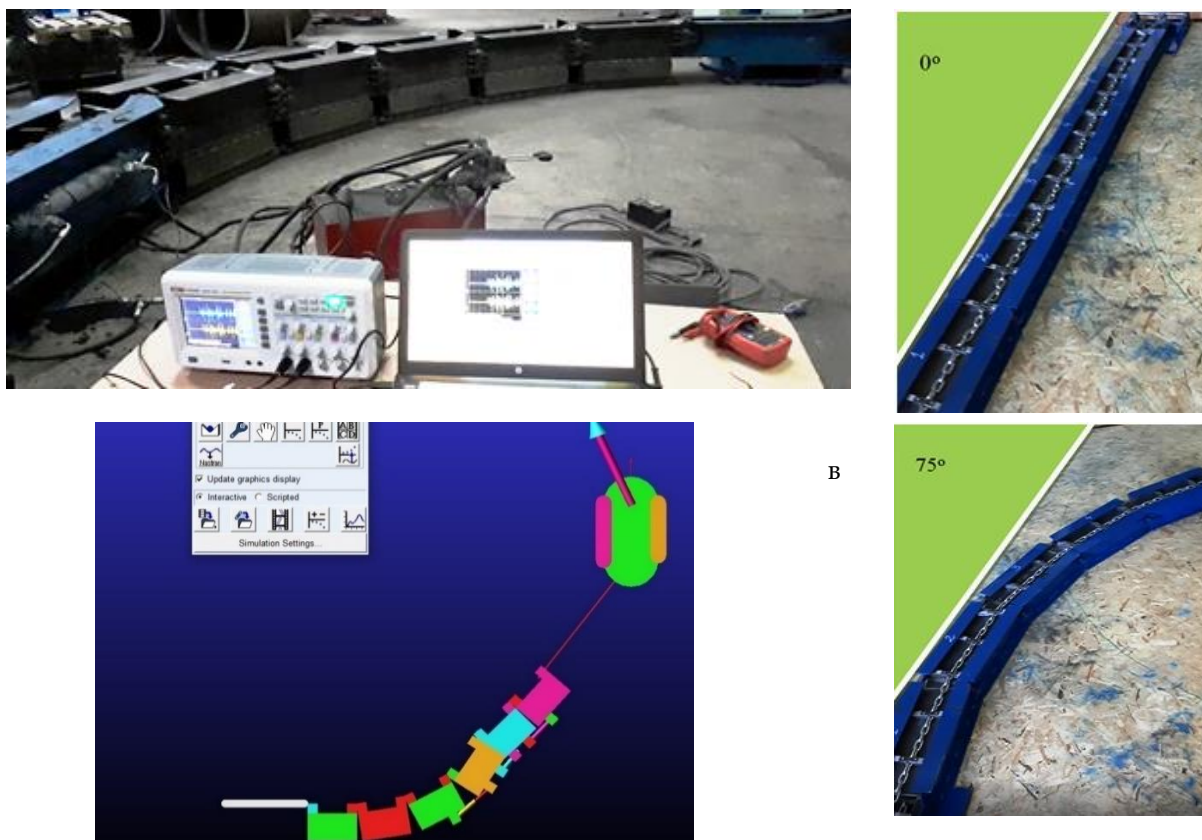
Рисунок 1. Расчетная схема: 1 – натяжной рештак; 2-9 – поворотные штaki; 9 – трос; 10- комбайн; 11- поворотная каретка погрузчика комбайна; 12- конвейер выработки; 13 поворотно-поступательные шарниры

## Результаты и обсуждение

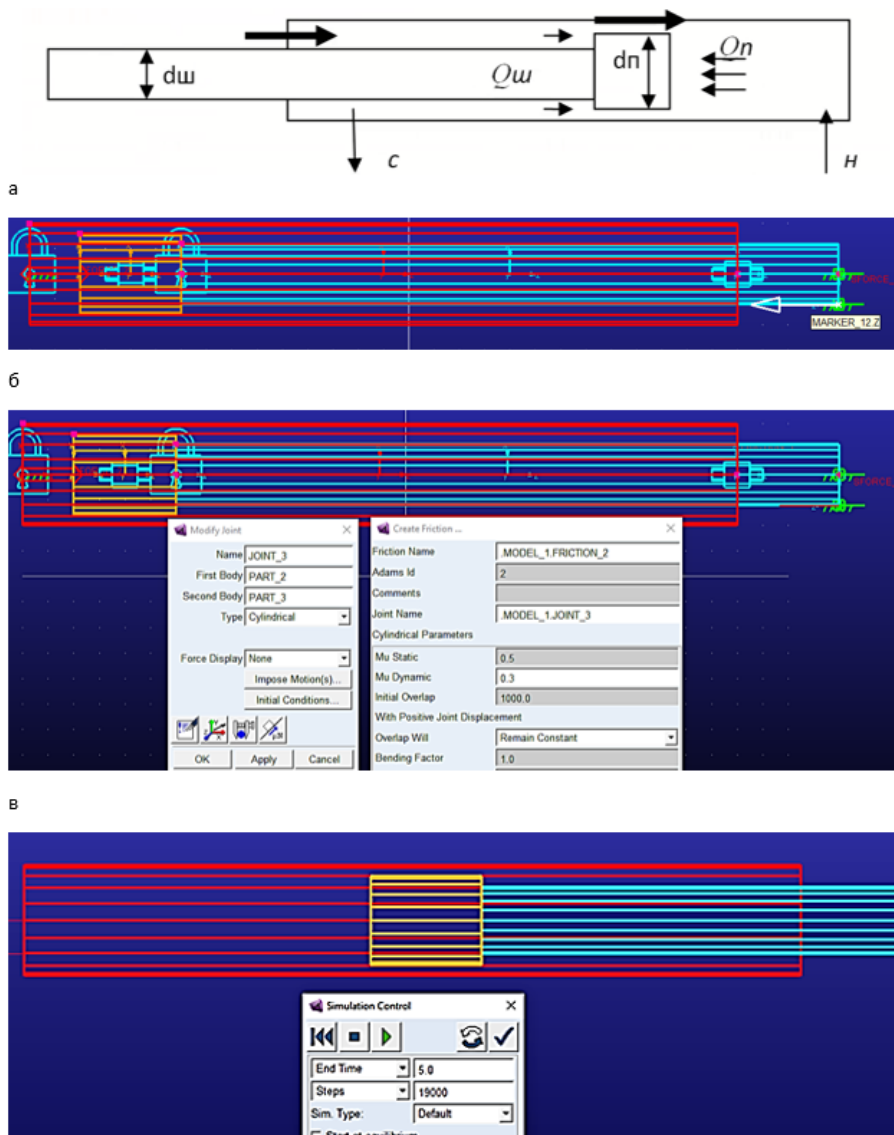
Как следует из рисунков 2 и 3 имитация движения комбайна, поворотного конвейера достаточно точно представляет реальное движение системы при входе в камеру. Здесь рассмотрено движение комбайна до точки, когда последний (приводной) рештак, двигаясь параллельно конвейеру выработки, подошел к предельному положению, а передние рештаки уже повернуты в камеру за счет протяжки комбайна. При уменьшении тяги  $F_t$  реакции уменьшаются. Для каждого из шарниров в пакете Adams строятся графики проекций сил опорных реакций на ось  $Y$  и  $X$ . Возможно и введение сил между элементами ППШ типа «шток – цилиндр»  $F_{ГЦ}$ .  $F_t$  для длины конвейера 32 м близка к 65000 Н, а максимальная принималась в 4 раза большей. Максимальные значения опорных реакций могут выбираться из графиков, и они приходятся на разные моменты подвигания конвейера. На крайнем шарнире в зоне привязки к комбайну величина реакции на ось  $Y$  близка к силе тяги. При отсутствии реальной силы трения в поворотных шарнирах при рывках комбайна возникают колебания рештак. Их амплитуду можно ограничить усилиями в ППШ пар «шток – цилиндр» но оптимальные режимы подобрать затруднительно, поэтому пока в качестве ППШ предпочтительно применение стержней, с ограничением углов поворота до  $15^\circ$ . Полагаем, что в таком положении максимальные реакции перераспределяются в паре между поворотным и ППШ, что уменьшит их значение. В среднем наличие усилий в парах типа «шток – цилиндр» приводит и к скачкообразному их изменению и росту величины реакций в поворотных шарнирах, рисунок 2г. При этом применение гидроцилиндров возможно для конструктивных схем, когда конвейер имеет собственную систему передвижения и при необходимости частого перенаправления потоков груза. Для расчета контактных нагрузок между скребком и бортами, в зоне их шарнирно соединения следует применять приложение AnsysAPDL [11] ContactPair. Конструкция проушин обеспечивает максимально плотное прилегание рештак с не превышением допустимого зазора до 8 мм, при максимально возможном приближении отверстий для пальцев, соединяющих проушины к бортам. Зазор же образуется за счет поворота бортов относительно центра поворота, и чем меньше радиус, тем меньше зазор. Такое конструктивное решение по сравнению со схемой перекрытия тонкой пластиной гораздо проще и обеспечивает упрощенное реверсирование направления движения скребков.

Как на модели, так и при испытании на стенде и на заводе - изготовителе, рисунок 3в, при вводе конвейера в камеру, поворот рештак начался от комбайна в порядке: 1, 2, 3... так как стальные рештаки протягивались по однородным поверхностям древесно-стружечных плит и бетонного пола, рисунок 2в и 2а. и силы трения оказывали на рештаки одинаковое влияние. В такой же последовательности разворачивались рештаки и в модели Adams, поскольку коэффициенты трения для каждого из них были одинаковыми (0,4 и 0,3 для статического и динамического значения). При моделировании без трения из-за колебаний такая картина несколько искажалась. Введение в модель Adams силы  $F_{ГЦ}$  в ППШ между рештаками затрудняло решение уравнений из – за колебаний в системе, когда некоторые параметры меняли знак. В этом случае методика расчета программно изменяется вводом приближения и полученные зависимости имеют скачки, рисунок 2г, поэтому с учетом удобства эксплуатации и точности расчета, было принято решения о применении стержней вместо гидроцилиндров, тогда как гидроцилиндры устанавливались в особых случаях. Поворот макета, выполненного в масштабе 1: 3 состоящего из 7 секций осуществлен при усилиях подачи в среднем около 150 н. Пересчет на реальные условия, показывает, что сила тяги комбайна достаточна для протяжки конвейера длиной около 32 м, что достаточно для выемки камер длиной 30 м. Это было подтверждено и при протяжке конвейера – стенда в машинном зале КарТУ за комбайном типа ПК 3М, хотя ход протяжки был минимальным. В отличии от модели Adams поворот макета при протяжке за головную часть осуществлялся без видимых колебаний става и поворот рештак четко

происходил в последовательности от первого до последнего. Картина в модели близка к данной, однако из – за колебаний рештаков так как их трение о почву моделировалось не в полной мере. Суммарный поворот конвейера на 90° и имитация его движения за комбайном в камеру в заводских условиях проводилась колесным трактором, рисунок 2а, при этом параметры работы записывались осциллографом UNI-TUTD4204C и на ноутбук, а энергетические фиксировались частотником ESQ-600-4T0220G-0300P, управляющим приводом, который позволял программировать крутящий момент, скорость движения тяговой цепи, в пределах эксперимента от 1 до 0.5 м/с, в то время как польский аналог типа Барракуда имел максимальную скорость до 0.75 м/с при более сложной конструкции. Испытания на высоких скоростях в среднем не приводили к росту энергопотребления, а в ряде случаев были и меньше, что объясняется особенностями трения скребков о полотно и борта конвейера.



**Рисунок 2. Поворот и протяжка конвейера при заводских испытаниях (а), в модели Adams (б) и на макете масштаба 1:3 (в), г – проекции опорных реакций в шарнирах при наличии активных усилий на домкратах поворотно-поступательных шарниров**



**Рисунок 3. Поворотно- поступательный шарнир в виде гидроцилиндра с учетом эксцентриситета нагрузки: а- схема сил, б-модель гидроцилиндра в Adams, в – установка трения у грунд -букся и поршня, г – имитация движения**

Для разработки и исследования ППШ в варианте с гидроцилиндрами использовался пакет Adams, где рассмотрена методика имитации движение штока с поршнем при осевой и нагрузке с эксцентриситетом, возникновение которого возможно при износе проушин крепления штока или цилиндра к проушинам борта конвейера, рисунок 3. Моделирование действия давление от насосной станции произведено за счет силы со свойством «Two bodies», когда сила  $F$  равная произведению площади на давление действует между двумя телами: цилиндром и поршнем. На шток действует противоположно направленная сила, которая препятствует повороту рештаков и определяется их трением о поверхность почвы, включая и сопротивление от неровностей которые либо срезаются, либо рештаки скользят по ним с подъемом по склонам. Для создания эксцентриситета при 3D проектировании на торцевую поверхность штока должна быть нанесена точка, расстояние которой от цетра равно эксцентрисистету и к ней прикладывается искомая сила сопротивления  $F_{соп}$

Примитив уравнения, определяющего движение штока:

$$F = M \cdot dV_{\text{ш}}/dt + (\pi \cdot D_{\text{п}}^2/4) \cdot Q_{\text{п}} - \pi \cdot (D-d)^2 \cdot Q_{\text{ш}} - \mu \cdot (N_{\text{гб}} + N_{\text{erb}}) - \mu \cdot (N_{\text{п}} + N_{\text{еп}}) - \sim f(V_{\text{от}})$$

$M$  – масса штока и поршня и рабочей жидкости;

$N_{\text{гб}}$  – нормальная сила к грунд-буксе;

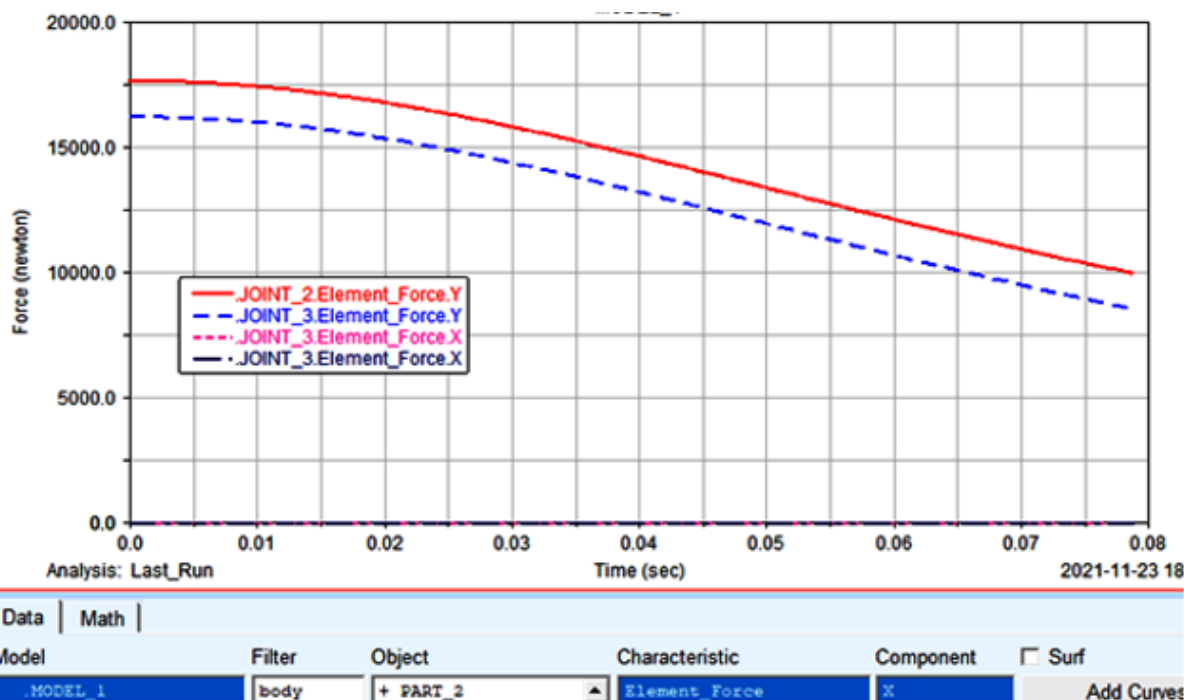


Рисунок 4. Опорные реакции в грунд-буксе и поршне при эксцентричной нагрузке

$N_{\text{erb}}$  -добавочная нормальная сила к грунд-буксе за счет эксцентриситета нагрузки на шток;

$N_{\text{еп}}$  - добавочная нормальная сила к поршню за счет эксцентриситета на шток;

$\sim f(V_{\text{от}})$  – переменная сила сопротивления при перетоке жидкости в сливное отверстие штоковой полости, зависящая от скорости штока.

Уравнение называем примитивом так как оно в дискретном режиме должно корректироваться по данным экспериментальных исследований и в начале отражает качественную связь параметров. У поршня и грунд-буксы для соединения с цилиндром установлены цилиндрические шарниры с поступательным и вращательным вокруг оси движением и введены статические и динамические коэффициенты трения, цилиндр прикреплен к основанию. Моделирование в пакете Adams позволяет уточнить примитив в количественном и качественном отношении путем постепенного ввода данных при имитации движения, и особенно  $\sim f(V_{\text{п}})$ , с отслеживанием параметров скорости, ускорения и опорных реакций на поршне и грунд-буксе в сравнение с реальными данными. Как следует из исследований и рисунка 4а эксцентриситет существенно повышает компонент нормальной нагрузки за счет возникновения постоянно действующего изгибающего момента. Роль возрастания этих сил при контакте поверхностей цилиндра и поршня требует уточнения, поэтому было проведено моделирование работы этой пары на основе конечно-элементной технологии в пакете Ansys APDL причем для возможности использования этих программ в системах обратной связи как это производится в системах управления лавой их создание, для повышения скорости исполнения файлов, производилось в процессоре /prer7 твердотельного моделирования. С этой



целью были разработаны и исследованы две модели. Суть моделей в том, что цилиндр и поршень склеены и для их проскальзывания не используется контакт-менеджер приложения ContactPair и Ansys Fluid существенно удлиняющие код и время исполнения программы, когда результаты решения определяются сложной технологией назначения контактных пар, коэффициентов пластичности и др., требующих предельно точного анализа данных. Для модели применена тонкослойная легко деформируемая сплошная оболочка, которая практически устраняет сжатие цилиндра за счет склейки с поршнем, позволяет привести в соответствие нагрузку на штоке и давление в поршневой полости, а по результатам её исследования рекомендованы укороченные оболочки расположенные по концам поршня, которые позволяют оценить и работу расположенных в этих зонах манжет, а также характеризовать зоны повышенного износа гидродомкрата.

### Заключение

С учетом необходимости корректировок результатов в системах обратной связи с показателями работы реальных гидродомкратов для шарниров поворотного конвейера проведено имитационное моделирование, стендовые и заводские исследования. По их результатам созданы моделирующие программы, которые позволяют оценить положение конвейера в зоне поворота, уточнить параметры выработки. Полученные в различных условиях результаты качественно совпадают, а небольшие отличия корректируются учетом трения по верхности движения и в шарнирах. Показано влияние сил действующих в поворотно-поступательных шарнирах при их выполнении в виде гидродомкратов, позволяющих регулировать угловую величину поворота, а также оценено их влияние на нагружение шарнирной системы. Приведены особенности расчетных схем при их выполнении в пакете динамического программирования Adams с конечно-элементным моделированием и с учетом возникновения эксцентричной нагрузки.

Моделирование предполагает разбиение его на стадии для переменной величины выдвигания штока, когда все параметры определяются для каждой стадии. Результаты позволяют определять опасный по износу режим работы и уточнить зоны контроля и упрочнения поверхностей цилиндра и поршня.

### Список литературы

1. Кабиев С.К. Оптимизация параметров комбайнов для добычи калийных руд. – Москва: Недра. – 1992. – 164 с.
2. Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Юрченко В.В., Шманов М.Н. Разработка базовой технологии выемки ископаемого с поворотом конвейера / // Известия томского политехнического университета. инжиниринг георесурсов. – 2018. – №8. – С.37-49.
3. Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Туганов С.К., Шманов М.Н. Разработка модели лавы для системы управления механизированной крепью с обратной связью // Горный журнал. – 2019. – № 8. – С.38-42.
4. Krzysztof Cenacewicz, Andrzej Katunin Modeling and simulation of longwall scraper conveyor considering operational faults *Studia Geotechnica et Mechanica*. – 2016. – Vol. 38, No. 2. – pp. 32-36. DOI: 10.1515/sgem-2016-0015.
5. Marian Dolipski. Dynamics of non-uniformity loads of AFC drives/ Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota//*Arch.Min,Sci*. – 2014. – Vol.59. No 1. – p. 155-168.
6. Talli A.L., Kotturshettar B.B. Forward Kinematic Analysis, Simulation &Workspace Tracing of Anthropomorphic Robot Manipulator by Using MSC. ADAMS. – 2015. V.4. – №. 1. pp. 18462- 18468.
7. Ashok K.J., Partha P.R. Modeling and Simulation of SCORA-ER14 Robot in ADAMS Platform // *International Journal of Engineering and Technical Research*. – 2014. – V. 2. – pp. 105-109.



8. Осичев А.В., Ткаченко А.А. Оценка влияния приводной звездочки на динамические усилия в рабочем органе скребкового конвейера СР72 // Вестник КДПУ имени Михаила Остроградского. – 2009. – Выпуск 4 (57). – С.10-13.

9. Marian Dolipski. Determination of dynamic loads of sprocket drum teeth and seats by means of a mathematical model of the longwall conveyor/ Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota // Arch.Min,Sci. – 2012. – Vol.57, No 4. – p. 1101-1119.

10. Soleiman Nouri F., Haddad Zarif M., Fateh M. M. Designing an adaptive fuzzy control for robot manipulators using PSO // Journal of AI and Data Mining. – 2014. – Vol. 2, No. 2. – pp. 125-133.

11. Marina Sidorová, Kakim Manapovich Beysembayev, Mahambet Nazhmetdinovich Shmanov, Kanat Kenzhegalievich Mendikenov and Aizat Murathankyzy Esen Plastic Flow Modeling in Rock Fracture Acta Montanistica Slovaca. – 2018. – Volume 23, number 4. –pp. 357-367.

**Д.К. Асмағамбет, Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, Н.С. Малыбаев**

*Қарағанды техникалық университеті коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Қарағанды*

### **Айналмалы конвейердің топсалы жүйесін әзірлеу**

**Аңдатпа.** Тасымалдау бетінің жазықтығында рештактарды бұру арқылы конвейерді модельдеу Adams динамикалық бағдарламалау пакетінде жасалды. Ол Лагранж – Эйлер теориясына негізделген Конвейердің айналмалы және айналмалы-трансляциялық топсалары бар болды. Сонымен қатар, ақырғы элемент технологиясы талдау үшін қолданылды. Нәтижесінде, конвейерлердің жұмысы енді 3D форматында жүзеге асырылуы мүмкін. Мұндай мүмкіндіктер конвейерді камераға проходка комбайның соңынан бұрып, тарту кезінде және иілісі бар штректермен тасымалдау үшін қажет. Броньды айналмалы конвейерлерді БЖЖ кендерін ұсақтау кезінде де қолдануға болады. Есептеу әдістері конвейердың ставын кез-келген аймағында берілген бұрышқа (15°) бұрылуын ескереді. Олар рештактардың бүйірлерінде орналасқан айналмалы және айналмалы-трансляциялық топсалар жүйесін ескере отырып, оның жағдайын анықтайды. Кенжарды алған кезде комбайнның қозғалыс ерекшеліктері трассаның қысқа аралықтарында жылдамдатылған. Гидравликалық домкрат түріндегі топсалардың жұмыс схемалары штоктағы эксцентрикалық жүктемені ескереді. Бұл поршеньдегі қысқа қабықшалары бар моделін жасауға және қарқынды тозу аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** айналмалы, айналмалы-трансляциялық буың, жылдамдық, үдеу, тірек, жүк, макет.

**D.K. Asmagambet, G.S. Zhetesova, K.M. Beisembaev, N.S. Malybaev**

*Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

### **Development of the pivoting system of the turning conveyor**

**Abstract.** The application of simulation modeling methods for the design of transport systems and conveyors with the rotation of lattices in the plane of the transportation surface due to rotary and rotary-translational hinges is carried out in the Adams dynamic programming package based on Lagrange–Euler theory and using finite element technologies. As a result, the work of the conveyors can now be carried out in 3D. Such capabilities are necessary when entering the conveyor into the chamber after the tunneling combine and for transportation along with curved workings. It is also possible to use armored turning conveyors for the extraction of DBO ores. The above expressions consider the rotation of the conveyor's lattices in any zone of its installation at a given angle up to 15° and allow determining its position in the chamber, taking into account the system of special hinges located on the sides of the lattices. The features of the movement of the combine as accelerated at short intervals of the route and the model of the turning process are substantiated.

**Keywords:** swivel, rotary-translational joint, speed, acceleration, stand, load, layout.

### References

1. Kabiev S.K. Optimizatsiya parametrov kombajnov dlya dobychi kalijnyh rud [Optimization of the parameters of combines for the extraction of potash ores]. (Nedra, Moskva, 1992, 164 p.) [in Russian].
2. ZHetesova G.S., Bejsembaev K.M., Malybaev N.S., YUrchenko V.V., SHmanov M.N. Razrabotka bazovoj tekhnologii vyemki iskopaemogo s povorotom konvejera [Development of the basic technology for the extraction of a fossil with a turn of the conveyor]. Vestnik Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georessursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources]. (8, 37-49(2018). [in Russian].
3. Bejsembaev K.M., Malybaev N.S., Tutanov S.K., SHmanov M.N. Razrabotka modeli lavy dlya sistemy upravleniya mekhanizirovannoj krep'yu s obratnoj svyaz'yu [Development of a longwall model for a powered support control system with feedback]. Gornyj zhurnal. 8, 38-42(2019) [in Russian].
4. Krzysztof Cenacewicz, Andrzej Katunin Modeling and simulation of longwall scraper conveyor considering operational faults Studia Geotechnica et Mechanica. 38(2), 32-36 (2016). DOI: 10.1515/sgem-2016-0015.
5. Marian Dolipski. Dynamics of non-uniform loads of AFC drives. Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota. Arch.Min,Sci. 59(1), 155-168(2014).
6. Talli A.L., Kotturshettar B.B. Forward Kinematic Analysis, Simulation & Workspace Tracing of Anthropomorphic Robot Manipulator by Using MSC. ADAMS. 4(1), 18462-18468(2015).
7. Ashok K.J., Partha P.R. Modeling and Simulation of SCORA-ER14 Robot in ADAMS Platform. International Journal of Engineering and Technical Research. 2, 105-109(2014).
8. Osichev A.V., Tkachenko A.A. Ocenka vliyaniya privodnoj zvezdochki na dinamicheskie usiliya v rabochem organe skrebkovogo konvejera SR72 [Assessment of the influence of the drive sprocket on the dynamic forces in the working body of the SR72 scraper conveyor]. Vestnik KDFU imeni Mihaila Ostrogradskogo. 4(57), 10-13(2009) [in Russian].
9. Marian Dolipski. Determination of dynamic loads of sprocket drum teeth and seats by means of a mathematical mode of the longwall conveyor. Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota. Arch.Min,Sci. 57(4), 1101-1119(2012).
10. Soleiman Nouri F., Haddad Zarif M., Fateh M. M. Designing an adaptive fuzzy control for robot manipulators using PSO. Journal of AI and Data Mining. 2(2), 125-133(2014).
11. Marina Sidorová, Kakim Manapovich Beysembayev, Mahambet Nazhmetdinovich Shmanov, Kanat Kenzhegalievich Mendikenov and Aizat Murathankyzy Esen Plastic Flow Modeling in Rock Fracture Acta Montanistica Slovaca. 23(4), 357-367(2018).

#### Сведения об авторах:

*Асмагамбет Д.К.* - докторант кафедры ТОМиС, Карагандинский технический университет, проспект Нурсултана Назарбаева 56, kenzhebaeva\_d@mail.ru.

*Жетесова Г.С.* - д.т.н., профессор, Карагандинский технический университет, проспект Нурсултана Назарбаева 56.

*Бейсембаев К.М.* - д.т.н., доцент, Карагандинский технический университет, проспект Нурсултана Назарбаева 56, kakim08@mail.ru.

*Малыбаев Н.С.* - к.т.н., доцент, Карагандинский технический университет, проспект Нурсултана Назарбаева 56, malybaevnurlansakenovich@mail.ru.

*Asmagambet D.K.* - Doctoral student of the Department of TOMiS, Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev Avenue, kenzhebaeva\_d@mail.ru.

*Zhetesova G.S.* - Doctor of Technical Sciences, Professor, Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev Avenue.

*Beissembaev K.M.* - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Karaganda Technical University, Nursultan Nazarbayev Avenue 56, kakim08@mail.ru.

*Malybaev N.S.* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nursultan Nazarbayev Avenue 56 malybaevnurlansakenovich@mail.ru.

## **К вопросу значимости влагостойких свойств бетона пристроительстве токоограничивающих реакторов подстанции**

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос повышения влагостойких свойств бетона, применяемого в строительстве токоограничивающих реакторов на подстанции, путем добавления в состав бетонной смеси битумных эмульсий. Цель исследования состоит в повышении устойчивости реакторов к погодным условиям: методом интервального анализа. Также задачами являлись испытание марок битума БНД 90/130 и БНД 130/200 на современном оборудовании завода Infratest (Германия). Были получены основные результаты, а именно: глубина проникания иглы (пенетрация), температура размягчения по кольцу и шару, растяжимость и хрупкость. Полученные результаты были сопоставлены с требованиями нормативно-технической документации. Сравнительные данные позволяют сделать выводы о возможности применения испытываемых марок битума в состав бетонной смеси при строительстве токоограничивающих реакторов на подстанциях. Результаты могут быть использованы в практических целях в виде рекомендации монтажно-строительным организациям, а также внесения поправок в действующую нормативно-техническую документацию.

**Ключевые слова:** токоограничивающий реактор; надежность; долговечность; обратная битумная эмульсия.

**DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-58-63](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-58-63)**

### **Введение**

Распределительные устройства, являясь неотъемлемой частью энергетической отрасли Республики Казахстан, к которым относятся подстанции, электроустановки, линии электропередачи и другие объекты, на сегодняшний день, претерпевают физический и моральный износ. Рост производственных мощностей промышленности и населения подчеркивает необходимость интенсивного развития энергетического комплекса с использованием технологий XXI века, сохраняя технологический баланс между традиционной энергетикой и возобновляемыми источниками энергии [4]. Концепция развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года целиком отражает данные задачи и подходы развития.

Кроме того, строительство и реконструкция распределительных сетей обусловлено ростом суммарной нагрузки потребителей, которая, и в настоящее время, продолжает стремительно увеличиваться. Применяемый в строительстве бетон является неотъемлемой частью любых видов строительных и монтажных работ. Таким образом, бетонная смесь, применяемая в строительстве энергетических объектов, должна иметь особые свойства и влагостойкие характеристики, позволяя решать специфические задачи энергетики, к которым относятся: надежность, долговечность, низкая электропроводность и другие характеристики бетонных конструкций. Высокие показатели вышеперечисленных требований предъявляются в местах установки токоограничивающих реакторов на электрических подстанциях.

Уровень развитости мировых и отечественных производственных кластеров по изготовлению энергетических установок находится на высокой ступени, постоянно совершенствуя выпускаемую продукцию, которая соответствует утвержденным требованиям безопасности и надежности.

Однако, работы по строительству и реконструкции энергетических объектов в зависимости от объема носят локальный характер и, как правило, выполняются в летний период без вывода подстанции из строя, с применением резервного питания для потребителей. Таким образом, сроки для проведения работ значительно сокращаются, что в последствии оказывает негативное воздействие на их качество. Имея в наличии передовую электроустановку, перед энергоснабжающими организациями ставится задача ее правильного и качественного подключения и интеграции с функционирующим оборудованием.

Токоограничивающий реактор — электрический аппарат, предназначенный для ограничения ударного тока короткого замыкания, применяется на подстанциях повсеместно [1]. При монтаже и работе данной электроустановки до 35 кВ включительно, важную роль играет возведенная бетонная конструкция - колонны и качество применяемой бетонной смеси, являясь основной изоляцией реактора [2].

За исключением внешних факторов: погодные условия и механические воздействия, колонны реактора подвергаются электродинамическим усилиям, которые возникают в реакторе при коротком замыкании между фазами. Таким образом, гарантом качества и долговечности, а в следствии бесперебойной работы электроустановки становится применяемый тип и марка бетона. Согласно требованию ГОСТ Р ИСО 6942-2007, для строительства реакторов используются тяжелые бетоны плотностью 2500 кг/м<sup>3</sup> и выше, с маркой предела прочности на сжатие М550 В 40 или М300 В 22.5. Однако, мировой практический опыт применения данной марки бетона показывает высокую стойкость к механическим и электродинамическим усилиям, но низкие свойства изоляции и стойкость к погодным условиям [3].

В связи с этим представляется актуальным вопрос повышения прочностных характеристик и влагостойких свойств бетона при строительстве токоограничивающих реакторов на подстанциях.

## Методы

Улучшение прочностных характеристик бетона способом изменения его состава и анализа полученных результатов методом интервального анализа.

## Обсуждения

Способами улучшения низких свойств бетона является рассмотрение способов регулирования электропроводности бетона. На практике существует несколько таких способов, основой которых стало предотвращение проникновения влаги в структуру материала. Наиболее действенный и эффективный из них заключается во включении в состав бетонной смеси битумных эмульсий, которые заполняют поры в теле бетона и затрудняют насыщение водой, тем самым обеспечивая стабильные значения электрического сопротивления. Принципиальная схема структуры бетонной конструкции с применением и без применения битумной эмульсии указана на Рисунке 1.

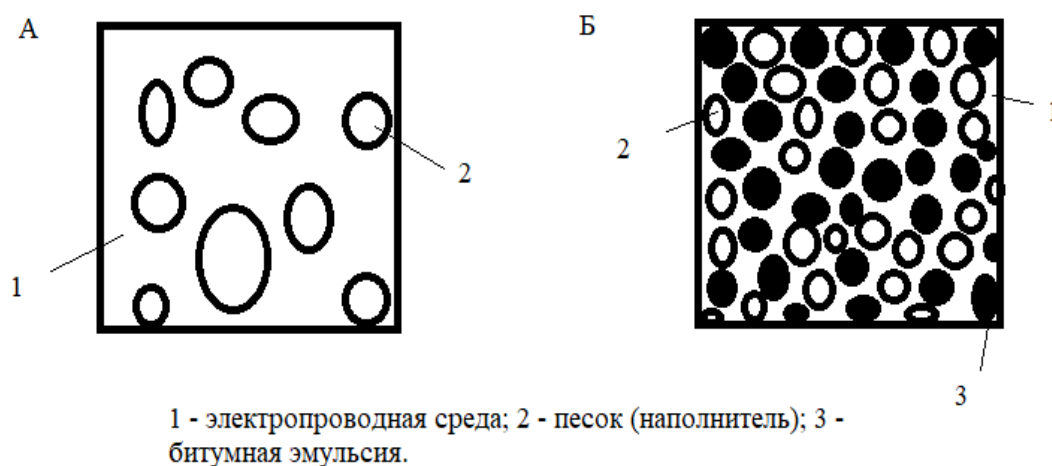


Рисунок 1. А – состав бетона без битумной эмульсии; Б - состав бетона с применением битумной эмульсии.

Рисунок 1 дает возможность визуального представления сокращению пространства электропроводной среды в составе бетона с использованием битумной эмульсии. Электропроводная среда в структуре бетона сократилась более чем в три раза.

### Результаты

Перспективы применения битумной эмульсии в составе бетона при строительстве токоограничивающих реакторов на электрических подстанциях зависят от его расширенного распространения энергоснабжающими организациями и строительными службами, которые занимаются их обслуживанием и ремонтом. Также, немаловажным критерием в таком применении битумной эмульсии стали рекомендации проектно-исследовательских организаций, которым следует уделить больше внимания структуре бетона, его фазовому и химическому составу, при протекании в нем физико-химических процессов.

Характеристики обратной битумной эмульсии напрямую зависят от марки и характеристик применяемого битума. К основным из них относятся: растяжимость, пенетрация, температура размягчения и температура хрупкости.

Проведенные лабораторные испытания марок битума БНД 90/130 и БНД 130/200 в Научно-производственном центре «ENU-Lab» Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва» дали следующие результаты, указанные в Таблице 1.

Таблица 1

Наименование показателя	БНД 90/130	Норма [5]	БНД 130/200	Норма [5]	Примечание
Пенетрация, 0,1 мм:					по ГОСТ 11501
- при 25°С	97	91-130	151	131-200	
- при 0°С	32	28	43	35	
Температура размягчения по кольцу и шару, °С:	45	43	41	40	по ГОСТ 11506
Растяжимость, см:					по ГОСТ 11505
- при 25°С	68	65	72	70	
- при 0°С	5	4	6	6	
Температура хрупкости, °С:	-21	-17	-26	-18	по ГОСТ 11507

### Выводы

На основании проведенных испытаний следует сделать вывод о соответствии марок битума БНД 90/130 и БНД 130/200 требованиям ГОСТ 22245-90 и пригодности к изготовлению обратной битумной эмульсии для включения в состав бетона при строительстве оснований токоограничивающих реакторов на электрических подстанциях.

### Список литературы

1. Усов С.В., Михалев Б.Н., Черновец А.К., Кизеветтер Е.Н., Кантан В.В. Электрическая часть электростанций: Учебник для вузов. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1987. – С. 644.
2. Меньшов Б.Г. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности / Б.Г. Меньшов, М.С. Ершов, А.Д. Яризов – Москва: ОАО «Издательство «Недра», 2000. – С. 497.
3. Yanvarev, I. A. Improving gas cooling technology at its compression in the booster compressor station / I. A. Yanvarev, A. D. Vanyashov A. V. Krupnikov // Procedia Engineering. – 2016. – №152. – P. 214.
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724 «Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года» [Электронный ресурс]. – 2014. – URL: [https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1\\_400000724](https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1_400000724) (Дата обращения: 01.03.2021).
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие» [Электронный ресурс]. – 1991. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/120000341> (Дата обращения: 03.03.2021).



**Р.В. Рахимов**

*Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

### **Электр станциясының ток шектеуші реакторларын салу кезінде бетонның ылғалға төзімді қасиеттерінің маңыздылығы мәселесіне**

**Аңдатпа.** Тарату құрылыстары Қазақстан Республикасының энергетика саласының ажырамас бөлігі болып табылады, оларға қосалқы станциялар, электр қондырғылары, электр беру желілері және басқа да объектілер жатады, бүгінгі күні физикалық және моральдық тозуға ұшырайды. Өнеркәсіп пен халықтың өндірістік қуаттарының өсуі дәстүрлі энергетика мен жаңартылатын энергия көздері арасындағы технологиялық теңгерімді сақтай отырып, ХХІ ғасыр технологияларын пайдалана отырып, энергетикалық кешенді қарқынды дамыту қажеттілігін көрсетеді [4]. Қазақстан Республикасының отын-энергетикалық кешенін дамытудың 2030 жылға дейінгі тұжырымдамасы осы міндеттер мен даму тәсілдерін толығымен көрсетеді.

Сонымен қатар, тарату желілерін салу және қайта құру тұтынушылардың жалпы жүктемесінің өсуіне байланысты, ол қазіргі уақытта да тез өсіп келеді. Құрылыста қолданылатын бетон құрылыс және монтаждау жұмыстарының кез келген түрлерінің ажырамас бөлігі болып табылады. Осылайша, энергетикалық объектілердің құрылысында қолданылатын бетон қоспасы ерекше қасиеттерге және ылғалға төзімді сипаттамаларға ие болуы керек, бұл энергияның нақты мәселелерін шешуге мүмкіндік береді, оған мыналар жатады: сенімділік, беріктік, төмен электр өткізгіштік және бетон конструкцияларының басқа сипаттамалары. Жоғарыда аталған талаптардың жоғары көрсеткіштері электр қосалқы станцияларында токты шектейтін реакторларды орнату орындарында қойылады.

**Түйін сөздер:** ток шектеуші реактор; сенімділік; ұзақ мерзімділік; кері битум эмульсиясы.

**R.V. Rakhimov**

*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

### **On the importance of moisture-resistant properties of concrete in the construction of current-limiting reactors of a substation**

**Abstract.** Switchgears are an integral part of the energy industry of the Republic of Kazakhstan, which include substations, electrical installations, power transmission lines and other facilities. Currently, they are undergoing physical and moral wear and tear. The growth of production capacities of industry and the population emphasizes the need for intensive development of the energy complex using the technologies of the XXI century, while maintaining a technological balance between traditional energy and renewable energy sources [4]. The concept of development of the fuel and energy complex of the Republic of Kazakhstan until 2030 fully reflects these tasks and development approaches.

In addition, the construction and reconstruction of distribution networks are due to the growth of a total load of consumers, which, even now, continues to increase rapidly. Concrete used in construction is an integral part of all types of construction and installation work.

Thus, the concrete mixture used in the construction of energy facilities must have special properties and moisture-resistant characteristics, allowing you to solve specific energy problems, which include: reliability, durability, low electrical conductivity and other characteristics of concrete structures. High indicators of the above requirements are imposed in the places of installation of current-limiting reactors at electrical substations.

**Keywords:** current-limiting reactor; reliability; durability; reverse bitumen emulsion.

### References

1. Usov S.V., Mikhalev B. N., Chernovetz A. K., Kiesewetter, E. N., Elektricheskaya chast' elektrostancij: Uchebnik dlya vuzov. [The cantin V. Electrical part of power plants: Textbook for universities. Leningrad: Energoatomizdat, 1987, P. 644] [in Russian].
2. Menchov B.G. Elektrotekhnicheskie ustanovki i komplekсы v neftegazovoj promyshlennosti [Electrical installations and systems in the oil and gas industry] B. G. Menshov, M. S. Yershov, A. D. Arsov. (Izdatel'stvo «Nedra», Moskva, 2000, P. 497) [in Russian].
3. Yanvarev, I. A. Improving gas cooling technology at its compression in the booster compressor station. I. A. Yanvarev, A. D. Vanyashov A. V. Krupnikov. Procedia Engineering. 152, 214(2016)
4. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated June 28, 2014 No. 724 "On approval of the Concept of development of the fuel and energy complex of the Republic of Kazakhstan until 2030" [Electronic resource]. Available at: URL: [https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1\\_400000724](https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1_400000724) (Accessed: 01.03.2021).
5. Interstate Standard GOST 22245-90 «Oil road viscous bitumen» [Electronic resource]. Available at: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003410> (Accessed: 03.03.2021).

*Сведения об авторе:*

**Рахимов Р.В.** - докторант 3 курса специальности "Автоматизация и управление" кафедры системного анализа и управления Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, ул. Пушкина, 11, Нур-Султан, Казахстан.

**Rakhimov R.V.** - The 3<sup>rd</sup> year Ph.D. student in «Automation and Management», Department of System Analysis and Management, L. N. Gumilyov Eurasian National University, 11 Pushkin str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Ж.Б. Ахаева<sup>1</sup>, Г.Т. Мерзадинова<sup>2</sup>, В.А. Жмудь<sup>3</sup>, А.Б. Закирова<sup>2</sup>, Т.К. Жукабаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Астана халықаралық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>3</sup>Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск, Ресей

(E-mail: <sup>1</sup>ahaeva07@mail.ru, <sup>2</sup>merzadinova\_gt@enu.kz, <sup>3</sup>oao\_nips@bk.ru, <sup>2</sup>alma\_zakirova@mail.ru, <sup>2</sup>tamara\_kokenovna@mail.ru)

## Ақылды қаланың интеллектуалды көлік жүйесі моделіндегі үлкен деректерді өңдеу процесі

**Аңдатпа.** Мақалада Нұр-Сұлтан қаласының ақылды қала жол көлігі қозғалысын талдау міндеттерін шешуге арналған үлкен деректерді талдауды қолдану процесі қарастырылды. Мегалополистің көлік жүйесін дамытудың зияткерлік жүйесі моделінің өзектілігі негізделіп, көлік жүйелерін дамыту мен зияткерлендіру саласындағы заманауи тәсілдерге шолу жасалады. Сонымен қатар, логикалық-алгоритмдік тілде жүйенің формальды дамуы жүзеге асырылып, оның сыртқы және ішкі құрылымы сипатталды. Ұсынылған шешім Flowmap.blue параллельді есептеу моделіне негізделген. Екі тәжірибелік жағдай талданды: автобустардың орналасу тарихын талдау негізінде қоғамдық көліктің сапасын бағалау және жұмыс күндері мен демалыс күндері көлік карталарынан билеттерді сатып алу тарихын талдау арқылы жолаушылардың ұтқырлығын бағалау. Екі экспериментке де Қазақстан Республикасының Нұр-Сұлтан қаласындағы қоғамдық көлік жүйесінің нақты дерекқоры пайдаланылды.

**Түйін сөздер:** мегалополистің көлік жүйесі, интеллектуализация, интеллектуалды даму жүйесі, басқару, ақылды қала, үлкен деректер.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-64-75](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-64-75)

### Кіріспе

Заманауи қалалар қарқынды дамып, оларда жаппай урбанизация тенденциясы байқалуда.

[1] Бұл қоғам дамуындағы қалалар рөлінің артуымен сипатталып, өз кезегінде қала халқының үлесінің артуына және ауыл шаруашылығының азаюына ықпал етуде. Урбанизация біздің мыңжылдықтағы көптеген мәселелердің себептерінің бірі болып табылады.

Қазіргі уақытта қаланың кеңеюіне байланысты көлік пен жолаушылар ағынын қалыптастыратын және тартатын нүктелер арасындағы қашықтық ұзартылып, азаматтардың жеке көліктерге тәуелділігін арттырды. Осыған байланысты бірқатар сұрақтар туындайды, олар мына мәселелерді қамтиды [2]: әлеуметтік мәселелер; кептеліс; ластану; шу кернеуі; жол-көлік оқиғалары; табиғи ресурстарды шектеуге байланысты мәселелер.

Сондықтан бүгінгі таңда «Ақылды қала» жүйесін, сондай-ақ оның жекелеген компоненттерін енгізу мәселесін шешуге ерекше талаптар қойылады, олардың ішінде [3]:

- қолжетімді қалалық инфрақұрылымның болуы;
- жоғары ұтқырлық;
- қала аумағының қауіпсіздігі;
- экологиялығы;
- дамыған қала үкіметі.

«Ақылды қала» тұжырымдамасына көшу – бұл қалаларды өмір сүруге қолайлы және икемді ететін, демек, жаңа сын-қатерлерге көбірек жауап беретін бірқатар қадамдардан тұратын процесс. «Ақылды қала» – бұл тұрақты жасыл қаланы құру, бәсекеге қабілетті және

инновациялық сауда жасау және қаланы басқару мен қызмет көрсетудің қарапайым жүйесімен өмір сүру сапасын арттыру үшін жаңа технологияларды қолдана отырып, адамдарды, ақпаратты және қалалық элементтерді біріктіретін жоғары технологиялық, қарқынды және дамыған қала.

«Ақылды қала» құру тұжырымдамасын қарастыра отырып, бір жағынан алты негізгі сегментті анықтауға болады: ақылды адамдар, ақылды өмір, ақылды басқару жүйесі, ақылды экономика, ақылды қоршаған орта, ақылды ұтқырлық. Екінші жағынан, «Ақылды қаланы» әртүрлі қалалық ішкі жүйелердің объектілері тұрғысынан қарастыруға болады: ақылды инфрақұрылым, ақылды ғимараттар, ақылды көлік құралдары және т.б.

«Ақылды қаланы» құруда адамдардың өмірін жақсартатын технологиялар (білім беру, медицина, қызмет көрсету) ерекше орын алады, сонымен қатар ақылды бола алады. Айта кету керек, қандай технологиялар қолданылса да, экономиканың кез-келген саласындағы процестерді көліксіз ұйымдастыру мүмкін емес. Көлік уақыт өте келе қоғамның қалыптасуы мен дамуына негізгі әсер етеді. Бұл ретте қаланың көлік жүйесін дамыту негізгі мәселелердің бірі болып табылады, өйткені ол жұмыс орындары мен демалыс орындарына қолжетімділікті қамтамасыз етеді. Бұл тұрғыда көлік жүйесі «Ақылды қаланың» негізгі зияткерлік жүйелерінің бірі болып табылады.

«Ақылды қала» тұжырымдамасында көлік жүйесін дамытуды қарастыра отырып, екі негізгі бағытты атап өткен жөн:

- қаланың қолданыстағы жол желісін қазіргі заманғы жағдайларға оңтайландырудан және халықтың қажеттіліктері мен қаланың сәулет-жоспарлау құрылымын ескере отырып, жаңасын жобалаудан тұратын қаланың жолдары желісін жетілдіру;

- соңғы тұтынушыларға үлкен ақпарат мазмұны мен қауіпсіздікті қамтамасыз ететін көлікті басқарудың ақпараттық технологияларды қолдану [4].

Көлік жүйесін жетілдіру - «Ақылды қала» құрудың маңызды кезеңі. Қалалық инфрақұрылым, әдетте, тұрғындардың автокөліктенуінің қазіргі деңгейін және көптеген басқа көрсеткіштерді ескермей салынған және бүгінгі күні ол көлік жүктемесін көтере алмайды. Үлкен өткізу қабілеті қажет болатын қалалық аудандардың көпшілігінде жеткілікті жаңа жолдар салу немесе қайта құру мүмкін емес. Сондай-ақ, жаңа жолдар салу қымбат және қоршаған ортаға зиян келтіруі мүмкін екенін атап өткен жөн.

Жол желісін оңтайландырудың мақсаты сәйкес пункттер арасындағы ең қысқа маршрутты анықтау болып табылады. Жол желісін дамытуды маршрут бойынша қозғалыс уақытын қысқартуға және қаланың көлік жүйесіндегі қаржылық шығындарды барынша азайтуға болатындай етіп жоспарлау қажет.

Ақылды қалалардың міндеттерінің бірі қала тұрғындарына көрсетілетін қызметтердің сапасын арттыру мақсатында қала шаруашылығының ресурстарын басқару үшін ақпараттық және коммуникациялық технологияларды пайдалану болып табылады. Бұл технологияларды пайдалану инфрақұрылымдық және пайдалану шығындарын азайтуға, ресурстарды пайдаланудың тиімділігін арттыруға және тұрғындар мен әкімшілік арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартуға мүмкіндік береді [5]. Көбінесе мұндай технологиялар қазіргі заманғы қала өміріндегі басты рөлге байланысты көлік қызметтері саласында қолданылады.

### Пәндік саланы талдау

Ақылды көлік инфрақұрылымын нөлден құру қажет емес. Қала билігінің басты міндеттерінің бірі – өсіп келе жатқан жүктемені ескере отырып, көлік инфрақұрылымының өткізу қабілетінің қорын құруға мүмкіндік беретін технологиялық шешімдерді енгізу. Сонымен бірге, көлік экожүйесінің жаңа элементтерін жаңғырту және құру ғана емес, осыған дейін болған экожүйе элементтерін тиімді пайдалану да маңызды.

Мысалы, американдық Сан-Диего АҚШ-тағы бірнеше шақырымдық кептелісі бар ең проблемалы қалалардың бірі болды, ал қазір ол елдегі ең үлкен қалалық заттар интернеті платформасы орналастырылған ақылды қала. Оның негізін CityIQ датчиктерімен жабдықталған 3500 көше шамдарынан тұратын жарықтандыру жүйесі құрайды. Әрбір осындай шам енді жарқырап қана қоймай, сонымен қатар орнатылған сенсорлардың – камералардың, микрофондардың, динамиктердің және қоршаған орта сенсорларының арқасында қаланы көріп, естиді. Осы деректерге сүйене отырып, автоматты жүйе трафик ағынын басқарады және автотұрақ орындарының жеткіліктілігін бақылайды, көше жарығының қарқындылығын реттейді және ауа сапасын бақылайды. Ресейдің 13 қаласында қолданушыға бос орындары бар көлік тұрақтарының цифрлық картасын ұсынатын мобильді қосымша жұмыс істейді. Картада қалалық көше көлік тұрақтары, муниципалды және ақылы автотұрақтар көрсетілген. Тұрақ ақысын байланыстырылған банк картасымен немесе танымал төлем қызметтерінің көмегімен бірден төлеуге болады. Қалаға арналған қосымшаның құндылығы – бұл тұрақ қозғалысын оңтайлы түрде таратуға мүмкіндік беретіндігінде: яғни, көлік неғұрлым тез тұрақ орнын тапса, соғұрлым ол негізгі көлік ағынына аз уақыт жұмсайды. Осылайша, инфрақұрылымдық жобаларға шығынсыз қаланың жол желісіне жүктеме азаяды.[6]

Қалалық логистиканы басқаруда динамикалық және мультимодальды ақпаратты пайдалану үрдісі байқалуда. Үлкен деректер автомобиль датчиктерінен, бақылау камераларынан, RFID белгілерінен, жол сенсорларынан және теміржол кенептерінен жиналады. Қалалық жол жүйелерінің, транзиттік жүйелердің, веложолдар мен жаяу жүргіншілер аймақтарының жағдайы туралы деректер жолаушылар ағынына, бизнес қажеттіліктеріне, қоршаған орта жағдайларына байланысты көлік ағындарын оңтайландыруға, сондай-ақ жолдардың жағдайын бақылауға қызмет етеді. Мұндай жүйелер басқару мен қызмет көрсетудің кешенді тәсілін, яғни институционалдық кедергілерді жоюды талап етеді.

Жолаушылар ағынын ішінара оңтайландырып, саяхаттың жоғары сапасын сақтау үшін сегменттерде бағдарламалық өнімдер қолданылады:

- Райдшеринг. Жолаушылар санын көбейтпей, көлік құралын бірлесіп пайдаланып, жолдардағы кептелістерді азайтатын жүйе.

- Веложарыс/велосһеринг. Велосипедтерге арналған жол инфрақұрылымының дамуы қала үшін қалалық жалға беру қызметтерінің белсенді қолданылуына әкелді, бұл адамдарды қала ішінде жүру үшін велосипедтерді жиі пайдалануға шақырады.

- Кардшаринг. Жаңа технологиялар компаниялар мен тұтынушыларға көліктерді сағатына/тәулігіне жалға алуға мүмкіндік берді.

- Сұраныс бойынша тасымалдау. Яндекс-такси және индрайвер қарапайым жүргізушілерге пайдаланушы сұраныстары бойынша көліктерін такси ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Мұндай қызметтер мобильді және GPS-технологиялармен жабдықталған, олар өз қызметтерінің бәсекеге қабілеттілігін арттырады.

Қоғамдық көлікке арналған интеллектуалды көлік жүйесі мыналарды қамтиды:

- Рейстер мен маршруттардың өтуін бақылауға арналған навигациялық деректер, оқиғаларды тіркеу;

- Көлік кешенін басқару мен бақылаудың сыртқы жүйелерімен интеграция;

- Нақты жолаушылар ағынын есепке алу;

- Жолаушылар тасымалын жүзеге асырудағы жағдайды үздіксіз бақылау;

- Көлік құралдары паркіне қызмет көрсету шығындарын оңтайландыру;

- Көлік құралдарының техникалық жағдайын қашықтықтан бақылау.

Автобустардың аялдама пунктіне келу кестесі туралы нақты уақытта алынатын ақпарат, қолжетімді автокөлік және велопарктар туралы ақпарат жол жүру уақытын қысқартуға және

тұрақ орнын іздеуге мүмкіндігін береді. Ал автоматтандырылған тұрақтар тұрақ кеңістігін тиімді пайдалануға ықпалын тигізеді.

Соңғы жылдары динамикалық көлік жүйесінің моделін құрудың сәтті математикалық және есептеу әдістері жасала бастады. Әлемнің дамыған елдерінде жеткілікті сынақтан өткен динамикалық көлік жүйелеріне арналған бағдарламалық өнімдердің қатарына мыналарды жатқызуға болады: DYNASMART [8], Dynameq [9], AIMSUN [7]. Осы бағдарламаларда жол желісінің модельдерін құру көптеген элементтерді (параметрлерді) қамтитын және көптеген коэффициенттерді калибрлеудің ұзақ процесін қажет ететін өте қиын міндет болып табылады.

2012 жылдан бастап Қазақстанда Нұр-Сұлтан қаласының инфрақұрылымын көлік, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық қызметтерінің сапасын жақсарту, инженерлік желілерді жаңарту, өмір сүру қауіпсіздігін арттыру, әлеуметтік бағдарламалардың жаңа түрлерін іске асыру арқылы жаңғыртуға бағытталған «Ақылды қала» жобасы іске асырылуда.

Тұжырымдама еуропалық «Ақылды қалаларды» дамыту моделіне негізделген. Тұжырымдаманы іске асыру шеңберінде қалалардың қауіпсіздігін қамтамасыз етудің «Тіршілікті кешенді қамтамасыз ету жүйесі» және көлік жүйесін жаңғырту жөніндегі негізгі жобалар айқындалды.

«Интеллектуалды көлік жүйесі»:

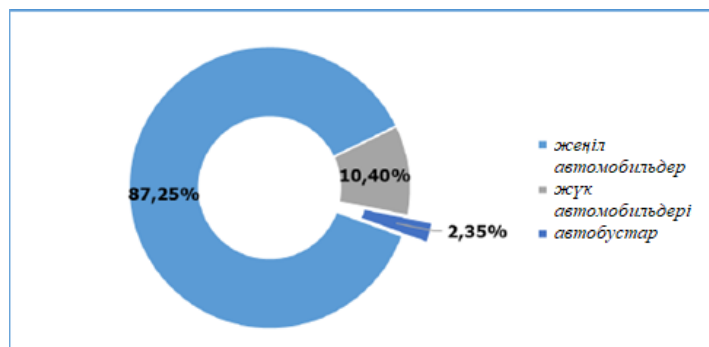
- Нұр-Сұлтан қаласындағы «Тіршілікті кешенді қамтамасыз ету жүйесі» (ТҚКЖ) жобасы қалада тұру қауіпсіздігін арттыруға бағытталған. Жобаның негізгі мақсаты қоғамдық тәртіпті қорғау жөніндегі іс-шараларға тартылған құрылымдардың қызметін үйлестіру, қаладағы жедел жағдайдың өзгеруіне ден қоюды жеделдету, сондай-ақ әртүрлі төтенше жағдайлар туындаған кездегі іс-қимылдар үшін қазіргі заманғы құрал жасау болып табылады.

- Нұр-Сұлтан қаласындағы «Интеллектуалды көлік жүйесі» жобасының басты мақсаты-қозғалысты бейімді басқару, қоғамдық көліктің басымдылығы, жол қозғалысының қауіпсіздігі, зиянды шығарындыларды азайту, қозғалыс жылдамдығын арттыру және кептелісті жою.

Қазақстан Республикасында қоғамдық көлік ірі қалаларда жақсы дамыған. Нұр-Сұлтан қаласының және жалпы Қазақстан Республикасының қоғамдық көліктерінің көлік қызметтері нарығына зерттеу жүргізілген болатын. Көптеген қалаларда көлік жүйесі автобустар мен маршруттық таксилерден тұрып, елдегі жалғыз троллейбус желісі Алматы қаласында жұмыс істейді. Бұдан басқа, Павлодар, Теміртау және Өскемен қалаларында трамвай бағыттары жұмыс істейді. Қазақстандағы жалғыз метро жүйесі Алматы қаласында орналасқан.

Жалпы алғанда, елдің қалалары бойынша автомобиль көлігі көліктің ең ұтқыр түрі болып табылады, ол көліктің барлық түрлерімен жолаушылар мен жүктерді тасымалдаудың жалпы көлемінің үлкен пайызын құрайды. Сонымен қатар, қазақстанның жалпы жолаушы мен жүк айналымында автомобиль көлігінің үлесі басым. 2020 жылдың соңындағы – 2021 жылдың басындағы деректер бойынша Қазақстан Республикасында 10,2 млрд. астам автокөлік құралдары, оның ішінде 3,6 млн. жеңіл автомобильдер, 429 мың жүк және арнайы автомобильдер және 34 автовокзал мен 138 автостанцияда қызметін жүзеге асыратын 97 мыңға жуық автобус тіркелген. [10]





Сурет 1 – 2020 жылғы деректер бойынша Қазақстанның Жолаушылар тасымалы нарығындағы түрлі автокөлік түрлерінің арақатынасы, %

Электронды диспетчерлік және билеттерді сату мақсатында заңнамалық деңгейде автобустарды навигациялық жүйе құрылғыларымен жабдықтау нормалары көзделген. Қалалық маршруттарды электрондық диспетчерлеу Астана және Алматы қалаларында, сондай-ақ Ақтөбе, Атырау, Павлодар, Жамбыл, Қарағанды, Солтүстік Қазақстан және Батыс Қазақстан облыстарында, сондай-ақ қалааралық және халықаралық жолаушылар маршруттарында енгізілді.

Соңғы 7 жылда Қазақстандағы көліктердің жалпы саны екі есе өсті [10]. 2006-2013 жылдар аралығында көлік құралдарының саны 2131,9 мыңнан 4200 мың бірлікке дейін өсті. [11]. Қазақстанның ресми автомобиль нарығы 2020 жылғы қаңтар-қазанда 3% - ға өсім көрсетті, бұл 134 мың автокөліктен сәл аз.

### Модельдің сыртқы құрылымын сипаттау

Көлік желісінің математикалық моделі «Ақылды қаланы» жобалау мәселесінің жаңалығы нәтижесінде пайда болды; модельді әзірлеу барысында жүйеде жүретін процестер туралы бастапқы түсініктерді алуға болады. Модельдеу нәтижесінде «Ақылды қала» жүйесіндегі процестерді ұйымдастырудың негізгі принциптері белгіленді. Жол желісінің математикалық моделін құру өте қиын, өйткені модельге енгізілген көптеген параметрлерді ескеру қажет.

Жол желісінің математикалық моделін құру үшін бағдарланған график түрінде ұсынуға болады. Жол желісі бағанының негізгі элементтері түйіндер (жөнелту және келу пункттері) мен түйіндер арасындағы байланысты білдіретін қабырғалар (доғалар) болып табылады. Жол желісін модельдейтін F графигі әрдайым графиктің барлық түйіндері болуы үшін міндетті түрде байланыстырылуы керек. Бұл ретте F бағанының жиектерін сипаттайтын сандарды графиктің түйіндері, уақыты немесе жол жүру құны арасындағы маршруттың ұзақтығы түрінде білдіруге болады. Жол желісінің графигі мынадай элементтерден тұрады (2 сурет):

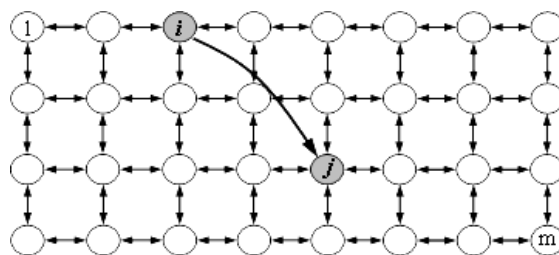
$m$  – F графының тізбектелген нөмірленген түйіндерінің жиынтығы;

$Z$  – F графының ретімен нөмірленген жиектерінің жиынтығы;

$I$  – шығу нүктелері болып табылатын түйіндер;

$i \subseteq m, J$  – келу пункттері болып табылатын түйіндер;

$i \cap j = \emptyset$ ,  $M_{ij} - i \in I$  шығу пункттері мен  $j \in J$  келу пункттері арасындағы көптеген маршруттар жиыны.



Сурет 2 – Түйіндер жиынымен және олардың арасында байланыс бар түйін жұптары жиынымен анықталатын жол желісінің графының моделі.

Бірыңғай көлік жүйелерінің көпшілігі электрондық төлем карталарын енгізуге негізделген. Қоғамдық көліктің жолаушыларын отырғызу/түсіру орындары, басым бағыттар және желілік кептелісі туралы деректерді талдау қала әкімшілігіне Нұр-Сұлтан қаласының көлік инфрақұрылымын дамытудың басым бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді. Қоғамдық көлікті пайдаланушылар үшін қозғалыс қарқындылығы мен қоғамдық көліктің жұмысындағы үзілістер туралы ақпарат бағытты тиімді жоспарлауға пайдалы.

Көлік компаниялары көлік паркіндегі жүктемені икемді жоспарлау үшін көлік аналитикасының өнімдерін пайдаланады.

Нұр-Сұлтан қаласының көлік жүйесі Transcend төлем картасына негізделген және 2011 жылдан бастап жұмыс істей бастады. 2011 жылдың сәуір айында Нұр-Сұлтан қаласы әкімдігінің қаулысымен Нұр-Сұлтан қаласының көлік және жол инфрақұрылымын дамыту басқармасы жанынан «Астана LRT» компаниясы құрылып, 2020 жылғы 26 маусымнан бастап «City Transportation Systems» ЖШС болып өзгертілді.

Бүгінгі таңда «CTS» ЖШС қаланың көлік стратегиясын құрып, қолданыстағы және әлеуетті жобаларды жүзеге асыра отырып, жаңа стандарттар қоюда:

- Интеллектуалды көлік жүйесі (ITS)
- Қоғамдық көлікті диспетчерлеу жүйесі
- Жол қозғалысына қатысушыларға арналған ақпараттық жүйе
- City Bus 1, 2, 3
- Қоғамдық көліктің маршруттық желісін жаңғырту
- Жол ақысын төлеудің электрондық жүйесі
- Ақылы тұрақтар
- School bus (мектеп тасымалдары)
- Нұр-Сұлтан қаласының электрондық көлік моделі

Сонымен қатар, «City Transportation Systems» ЖШС көліктік зерттеулерді, қаланың жол желісін, жолаушылар ағынына талдауды, Нұр-Сұлтан қаласы көлік мамандарының біліктілігін арттыру, «Systra», «Tupsa», «Swarco», «EBRD», «Bureau Veritas», «PwC» және т.б. жетекші әлемдік компаниялардың халықаралық консультанттарын тарта отырып сапарлар корреспонденциясын жүргізеді. [12]

Деректерді жинаумен және талдауды Нұр-Сұлтан қаласының көлік басқармасы (City Transportation Systems CTS) айналысады. CTS аналитикалық жүйесі жолаушылардың қозғалысы туралы деректерді өңдеп, қоғамдық көлік жүйесін тұрғындардың қажеттіліктеріне бейімдейді.

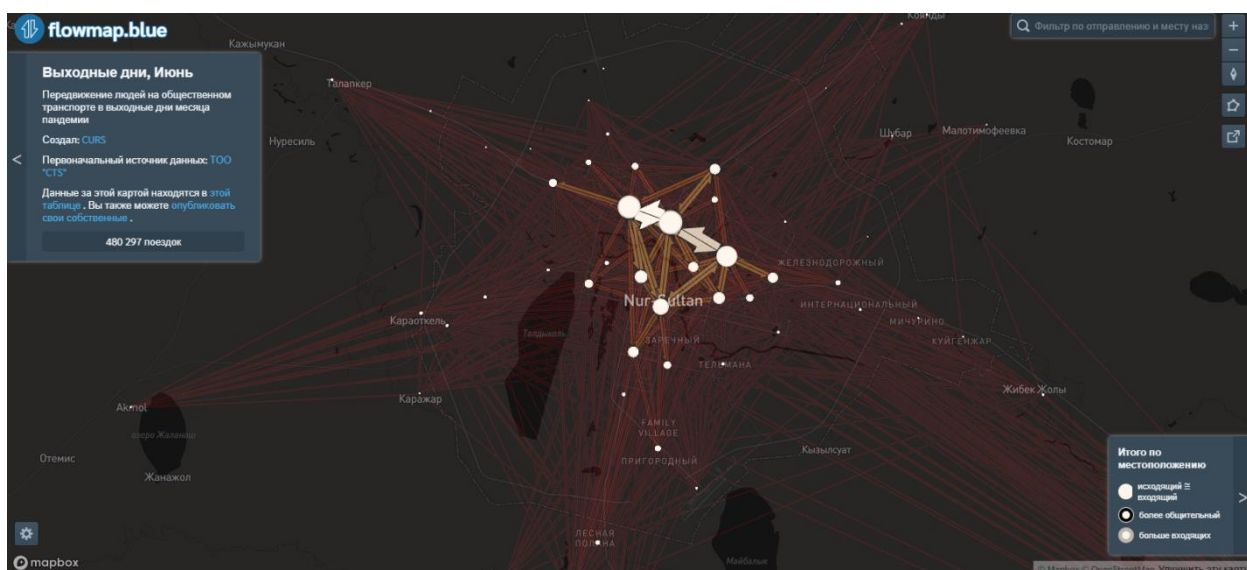
Сурет 3 және сурет 4-те жұмыс және демалыс күндері Нұр-Сұлтан қаласы тұрғындарының қозғалысы көрсетілген.

2021 жылғы маусым айындағы жұмыс күндері 3 458 134 сапар жасалған.



Сурет 3– Нұр-Сұлтан қаласы тұрғындарының жұмыс күндері қозғалысы

Демалыс күндері 2021 жылдың маусым айында 480 297 сапар жасалған.



Сурет 4– Нұр-Сұлтан қаласы тұрғындарының демалыс күндері қозғалысы

Бұл практикалық мысалда автобустарда орнатылған GPS навигаторларының деректерін қолдана отырып, қоғамдық көлік жүйесінің қызмет көрсету сапасын есептеу міндеті қарастырылған. Covid-19 пандемиясы кезінде Нұр-Сұлтан қаласы тұрғындарының жұмыс және демалыс күндері қозғалысы. Бұл суреттерде қала тұрғындары жиі баратын белгілі бір нүктелер айқын көрінеді. Негізінен бұл нүктелер қала орталығында шоғырланған.

Деректер әр автобустың белгілі бір уақытта орналасқан жері туралы ақпаратты қамтиды. Бұл ақпарат әр 10-30 секунд сайын жаңартылады. Қоғамдық көлік жүйесі жұмысының тиімділігін анықтау үшін негізгі міндет – тиісті деректерді енгізу, мысалы:

1) әр автобустың қаладағы алдын-ала белгіленген және орындар арасындағы жолға кететін нақты уақыты;

2) кептеліс орындарын анықтау үшін нақты маршруттағы әрбір автобустың кідірісі туралы статистикалық ақпарат.

Аптаның әртүрлі күндерінде, сондай-ақ тәуліктің әртүрлі уақыттарында жолаушылар ағыны мен көлік кептелісі заңдылықтарын анықтау үшін деректер тиісті түрде ұйымдастырылуы тиіс.

Қала тұрғындарының қозғалысы туралы мәліметтерді пайдалана отырып, қалалық көлік бағыттарын реттеуге болады.

Әзірленген жүйе пайдалы болатын кем дегенде екі мақсатты топ бар: жолаушылар мен қала әкімшілігі. Тарихи деректер мен нақты уақыттағы деректерді өңдеу негізінде алынған ақпараттың көмегімен қоғамдық көлік жүйесін пайдаланушы өзінің қозғалысы туралы тиімді шешімдер қабылдай алады (мысалы, белгілі бір автобус бағытын таңдап, басқа автобусқа ауыса алады). Бұл ақпарат ақылды мобильді қосымша немесе сайт арқылы берілуі мүмкін. Қала әкімшілігі үшін мұндай ақпарат автобус бағыттарының ұзақ мерзімді өзгеруін, қозғалыс кестесін, аялдамалардың жағдайын жоспарлау, сондай-ақ нақты проблемалық жағдайларды анықтау үшін пайдалы.

Автобустар орналасу деректерін бұлттық серверге жібереді. Серверде нақты уақытта әртүрлі автобустардың жиналған GPS деректері өңделеді. Есептеу нәтижелері соңғы пайдаланушылардың пайдалануы үшін мобильді қосымшаларға және қала әкімшілігінің пайдалануы үшін мониторингтік қосымшасына жіберіледі.

Алдын ала есептеу кезеңінде жетекші процесс қажет емес ақпаратты сақтайтын жазбаларды (мысалы, зақымдалған GPS деректері) фильтрлеу арқылы деректерді дайындайды. Сонымен қатар, деректер тек пайдаланушы белгілеген уақыт аралығынан жазбаларды қосатындай етіп сүзіледі. Кезеңнің соңында жазбалар автобустың сәйкестендіру нөмірі бойынша сұрыпталады, бұл келесі кезеңнің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Үлестірілген есептеу кезеңінде жетекші процесс алдыңғы кезеңде алынған фильтрленген GPS жазбаларының жиынтығын бөліктерге бөліп, оларды басқарылатын процестер арасында таратады. Әр бөлімде белгілі бір автобус бағытының орналасқан жері мен уақыты туралы жазбалары бар. Осылайша, басқарылатын процестердің тәуелсіздігі қамтамасыз етіледі және бұл есептеу өнімділігін арттырады. Әрбір басқарылатын процесс маршруттағы әрбір белгіленген орындар арасындағы жолға кететін уақытты есептейді. Жинақтау қадамында есептеу нәтижелері пайдаланушыға берілетін қызмет сапасының статистикасын анықтау үшін қолданылып, нәтижелер автобус бағыттары бойынша және белгіленген орындар бойынша сұрыпталады. Кезеңнің соңында әрбір басқарылатын процесс нәтижелерді топтастырып, қолданушыға қорытынды нәтижені шығаратын жетекші процеске нәтижелерді қайтарады [13].

Эксперименттік бағалау Astana Innovation АҚ ұсынған Cluster RING бұлтты инфрақұрылымы негізінде жүргізілді.

Эксперименттік талдау үшін Нұр-Сұлтан қаласындағы Astana Innovation АҚ компаниясы ұсынған нақты деректер пайдаланылды.

Зерттеу формальды-логикалық және аналитикалық зерттеу әдістерін қамтитын жалпы ғылыми талдау әдістеріне негізделген. Зерттеудің тұжырымдалған міндеттері аясында мәселені шешу үшін қолданылатын әдістер осы мәселенің эмпирикалық даму заңдылықтарымен анықталды және мыналарды қамтиды: модельдеу әдісі, графикалық әдіс, статистикалық әдіс, таратылған әдіс. Осыған сүйене отырып, зерттеуде қолданылатын әдістер Smart City-де зияткерлік көлік жүйесінің деректерін имитациялық модельдеу процесін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.



## Қорытынды

Қорытындылай келе, «Ақылды қала» тұжырымдамасына көшу жағдайында тұрақты көлік жүйесін құру «Пайдаланушы-көлік құралы-жол қозғалысы-көлік инфрақұрылымы – басқару технологиялары және қауіпсіздік» жүйесі түрінде қарастырылуы керек деп айта аламыз. Осы жүйе шеңберінде қаралатын құбылыстарды физикалық талдауға математикалық модельдер арқылы көшу жүзеге асырылатын көлік құбылыстарының (жүйелерінің) инженерлік сипаттамасын қарау қажет. Бұл тәсіл көлік ағындарын жедел басқару функцияларын орындауға бағытталған ITS негізіндегі басқару жүйелерін сипаттауға да қолданылады. Covid-19 пандемиясы кезінде жұмыс және демалыс күндері Нұр-Сұлтан қаласы тұрғындарының қозғалысы туралы деректерді қарап, тұрғындардың жаппай қозғалу нүктелерінде маршрутта белгілі бір көлік қозғалысы маршрутын және автобустар санын салуға болады.

Ақылды қалалық көлікті бақылау, талдау және басқару үшін цифрлық технологиялар ірі қалалардан алдымен орташа, содан кейін шағын қалаларға тез таралады. Көлік жүйесін жаңғырту қала тұрғындарымен үлкен ағартушылық жұмыстарымен қатар жүруі тиіс. Адамдар үшін инновацияның өмір сапасын қалай арттыратынын білу өте маңызды, өйткені бұл бізге қажет басты себеп.

## Әдебиеттер тізімі

1. Архипов О.П. Пути создания автоматизированной системы управления инновационным «Умным городом» // Информационные системы и технологии. – 2011. – Т. 68. – № 6. – С. 85–94.
2. Сапир Ж. От регионоведения к «Умным городам»: интеллектуальное наследие и возможные проблемы // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2018. – Т. 11. – № 3. – С. 25–40.
3. Славин О.А. Разработка методологии создания логико-математической модели движения транспорта на этапе создания концепции Умного города // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2013. – Т. 63. – № 3. – С. 31–41.
4. Черний Ю.С. Разработка концепции экспертной системы для оптимизации направления «Умный транспорт» на примере Новосибирска // Творчество и современность. Сетевое издание. – 2018. – №3(7). [Электрон. ресурс] - URL: <http://www.nsktvs.ru/node/177>. (дата обращения: 01.05.2021).
5. Deakin M., & Al Waer H. From intelligent to smart cities // Intelligent Buildings International. – 2011. - Vol. 3. - № 3. - P. 140-152.
6. ООО "Гротек" – ведущий российский издательский дом. [Электрон. ресурс] - URL: <https://www.secuteck.ru/articles/umnyj-transport-kak-chast-ehkosistemy-tehnologij-umnogo-goroda> (дата обращения: 01.05.2021).
7. Barcelo J. Dynamic Network Simulation with AIMSUN // Simulation Approaches in Transportation Analysis. – 2005. – P. 57–98. [Электрон. ресурс] - URL: [https://www.researchgate.net/publication/225945073\\_Dynamic\\_network\\_simulation\\_with\\_AIMSUN](https://www.researchgate.net/publication/225945073_Dynamic_network_simulation_with_AIMSUN). (дата обращения: 01.05.2021). doi: 10.1007/0-387-24109-4\_3.
8. Florian M. Application of a simulation-based dynamic traffic assignment model // Simulation Approaches in Transportation Analysis: Recent Advances and Challenges. New York. – 2005. – P. 1–22.
9. Mahmassani H.S. Dynamic network traffic assignment and simulation methodology for advanced system management applications // Networks and Spatial Economics. – 2001. – Vol. 1. - № 3/4. – P. 267–292.

10. Данные Департамента статистики города Алматы. [Электрон. ресурс] - URL: <http://rus.almaty.gorstat.kz/transport> (дата обращения: 01.05.2021)
11. Проект ГЭФ/ПРООН Устойчивый транспорт г. Алматы. [www.unecse.org](http://www.unecse.org) Исследование инвестиционной привлекательности Казахстана. [Электрон. ресурс] - URL: [www.eu.com/attractiveness](http://www.eu.com/attractiveness). -2014 (дата обращения: 01.05.2021)
12. Astana transport card. [Электрон. ресурс] - URL: <https://transcard.kz/ru/about-us/> (дата обращения: 01.05.2021).
13. Институт системного программирования Российской академии наук. г.Москва, 2016. [Электрон. ресурс] - URL: <https://www.ispras.ru/upload/uf/5a8/5a8c0a25c3ee111da8e5846bc9355652.pdf> (дата обращения: 01.05.2021)

Ж.Б. Ахаева<sup>1</sup>, Г.Т. Мерзудинова<sup>2</sup>, В.А.Жмудь<sup>3</sup>, А.Б.Закирова<sup>2</sup>, Т.К.Жукабаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Международный университет Астана, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

### Процесс обработки больших данных в модели интеллектуальной транспортной системы «умного города»

**Аннотация.** В статье рассматривается процесс применения анализа больших данных для решения задач анализа движения дорожного транспорта в Умном городе Нур-Султан. Обосновывается актуальность модели интеллектуальной системы развития транспортной системы мегаполиса. Выполняется обзор современных подходов в области развития и интеллектуализации транспортных систем. На логико-алгоритмическом языке осуществляется формальная разработка системы. Описывается ее внешняя и внутренняя структура. Предложенное решение базируется на модели параллельных вычислений Flowmap.blue. Анализируются два экспериментальных случая: оценка качества общественного транспорта на основе анализа истории местоположения автобусов, и оценка мобильности пассажиров при помощи анализа истории покупок билетов с транспортных карт в будние дни и в выходной день. Оба эксперимента используют реальную базу данных системы общественного транспорта в городе Нур-Султан Республика Казахстан.

**Ключевые слова:** транспортная система мегаполиса, интеллектуализация, интеллектуальная система развития, управление, умный город, большие данные.

Zh.B. Akhayeveva<sup>1</sup>, G.T. Merzadinova<sup>2</sup>, V.A.Zhmud<sup>3</sup>, A.B.Zakirova<sup>2</sup>, T.K.Zhukabaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>3</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

### The process of processing Big data in the model of an intelligent transport system of a Smart city

**Abstract.** The article discusses the process of applying big data analysis to solve the problems of traffic analysis in the Smart city of Nur-Sultan. There is substantiated relevance of the model of the intellectual system of development of the transport system of the metropolis.



There is carried out review of modern approaches in the field of development and intellectualization of transport systems. The formal development of the system is carried out in a logical-algorithmic language. The article describes its external and internal structure. The proposed solution is based on the Flowmap.blue parallel computing model. There are analyzed two experimental cases such as assessment of the quality of public transport based on the analysis of the history of the location of buses, and assessment of passenger mobility by analyzing the history of ticket purchases from transport cards on weekdays and weekends. Both experiments use a real database of the public transport system in the city of Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

**Keywords:** megalopolis transport system, intellectualization, intelligent development system, management, smart city, big data.

### References

1. Arkhipov O.P. Puti sozdaniya avtomatizirovannoy sistemy upravleniya innovatsionnym «Umnym gorodom», *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Ways to create an automated control system for an innovative "Smart City", Information systems and technologies], 6(68), 85–94 (2011). [in Russian]
2. Sapir Zh. Ot regionovedeniya k «Umnym gorodam»: intellektual'noe nasledie i vozmozhnye problem, *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [From regional studies to "smart cities": intellectual heritage and possible problems, Economic and social changes: facts, trends, forecast], 3(11), 25–40 (2018). [in Russian]
3. Slavin O.A. Razrabotka metodologii sozdaniya logiko-matematicheskoy modeli dvizheniya transporta na etape sozdaniya kontseptsii Umnogo goroda, *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk* [Development of a methodology for creating a logical-mathematical model of traffic at the stage of creating the concept of a Smart City, Proceedings of the Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences], 3(63), 31–41 (2013). [in Russian]
4. Cherniy Yu.S. Razrabotka kontseptsii ekspertnoy sistemy dlya optimizatsii napravleniya «Umnyy transport» na primere Novosibirska, *Tvorchestvo i sovremennost'. Setevoe izdanie* [Development of the concept of an expert system for optimizing the direction "Smart transport" on the example of Novosibirsk, *Tvorchestvo i sovremennost'. Online edition*], 3(7), 2018. [Electronic resource] - Available at: <http://www.nsktvs.ru/node/177>. (Accessed: 01.05.2021).
5. Deakin M., & Al Waer H. From intelligent to smart cities, *Intelligent Buildings International*, 3(3), 140-152 (2011).
6. ООО "Grotek" – vedushchiy rossiyskiy izdatel'skiy dom. [Electronic resource] - Available at: <https://www.secuteck.ru/articles/umnyj-transport-kak-chast-ehkosistemy-tekhnologij-umnogo-goroda> (Accessed: 01.05.2021).
7. Barcelo J. Dynamic Network Simulation with AIMSUN, *Simulation Approaches in Transportation Analysis*, 57–98 (2005). [Electronic resource] - Available at: [https://www.researchgate.net/publication/225945073\\_Dynamic\\_network\\_simulation\\_with\\_AIMSUN](https://www.researchgate.net/publication/225945073_Dynamic_network_simulation_with_AIMSUN). (Accessed: 01.05.2021). doi: 10.1007/0-387-24109-4\_3.
8. Florian M. Application of a simulation-based dynamic traffic assignment model, *Simulation Approaches in Transportation Analysis: Recent Advances and Challenges*, New York, 1–22 (2005).
9. Mahmassani H.S. Dynamic network traffic assignment and simulation methodology for advanced system management applications, *Networks and Spatial Economics*, 1(3/4), 267–292 (2001).
10. Dannye Departamenta statistiki goroda Almaty [Data from the Department of Statistics of the city of Almaty]. [Electronic resource] - Available at: <http://rus.almaty.gorstat.kz/transport> (Accessed: 01.05.2021)

11. Proekt GEF/PROON Ustoychivyy transport g. Almaty. www.unece.org Issledovanie investitsionnoy privlekatel'nosti Kazakhstana [GEF/PROON Almaty Sustainable Transport Project. www.unece.org Investment Attractiveness Study of Kazakhstan]. [Electronic resource] - Available at: www.ey.com/attractiveness. -2014 (Accessed: 01.05.2021)

12. Astana transport card. [Electronic resource] - Available at: <https://transcard.kz/ru/about-us/> (Accessed: 01.05.2021).

13. Institut sistemnogo programmirovaniya Rossiyskoy akademii nauk. g.Moskva, 2016 [Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2016]. [Electronic resource] - Available at: <https://www.ispras.ru/upload/uf/5a8/5a8c0a25c3ee111da8e5846bc9355652.pdf> (Accessed: 01.05.2021)

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Ахаева Ж. Б.** – Астана Халықаралық университетінің 2 курс докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

**Мерзудинова Г.Т.** - техника ғылымдарының докторы, коммерцияландыру және интернационалдандыру жөніндегі проректор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

**Жмудь В. А.** – техника ғылымдарының докторы, Новосибирск мемлекеттік техникалық университетінің профессоры, Новосибирск, Ресей

**Закирова А.Б.** – педагогика ғылымдарының кандидаты, Информатика кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

**Жукабаева Т.К.** - PhD докторы, Ақпараттық жүйелер кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

**Akhayeva Zh.B.** – The 2<sup>nd</sup> year Ph.D. student, Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Merzadinova G.T.** - Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Science, Commercialization and Internationalization Education L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

**Zhmud V.A.** - Doctor of Technical Sciences, Professor of Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

**Zakirova A.B.** - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

**Zhukabayeva T.K.** - PhD, Associate Professor of the Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

## Prevention method of soil freezing during pile driving in winter

**Abstract.** One of the common challenges of driving piles in winter is frozen soil. The depth of frozen soil reaches two meters in Northern and Central Kazakhstan that made it difficult to build the pile foundations in cold months. In order to prevent the pile distraction, the places of pile installation are usually drilled by drilling machines which takes time and additional cost for preparatory works. In this paper we proposed a new method of preventing the soil from freezing by using an antifreeze reagent. The reagent can also be used to thaw the frozen ground which allows the construction works in winter months. During the static load test, the piles driven into the soil that had been applied with antifreeze reagent have shown more accurate bearing capacity data. The scientific and experimental studies have established that the antifreeze reagent reduces the compressibility of frozen soil.

**Keywords:** frozen soil, pile foundation, piles, static load test, antifreeze reagent.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-76-87](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-76-87)

### Introduction

Pile driving in winter has its obstacles as the ions of water get crystalized during the long time of sub-zero temperatures making the soil thick and frozen. One of the widely adopted methods of driving piles in winter in Kazakhstan is drilling the frozen depth of pile places. Usually, frozen depth gets to two meters below the ground level. There are many challenges when placing the piles in cold weather. For example, due to the frozen ground, the number of impacts exceeds the requirements for driving the pile. Consequently, due to a lot of hard-driving, concrete piles can develop horizontal cracks. Usually, the head of concrete piles is vulnerable to impacts. The head of a pile usually gets deformed or damaged by the high blow counts. These issues also lead to the penetration of water into the structure of concrete piles. Moreover, when the soil is thick and frozen, piles can be driven out of their accepted location which is not acceptable for pile foundations

It is important to know the methods of foundation piling one needs in cold weather conditions, which might affect not only the structure of pre-cast- concrete piles but also the whole foundation itself.



Figure 1. Seasonal frost depth across Kazakhstan

The proposed antifreeze reagent can serve as thermal insulation for the soil when the temperature drops below freezing in the winter months. Moreover, it can provide an ideal condition to drive the piles on the construction site without waiting for the springtime. In order to run the project on schedule, and antifreeze reagent can offer significant advantages in wintertime.

It is important to note that antifreeze reagent can also help to make fewer disturbances to the surrounding area since the ground is unfrozen and does not require any major excavation. Pile foundations can be easily placed in winter without additional and extra costly operations.

There are a lot of studies that investigated the effects of seasonally frozen soils on pile foundations. Authors of research suggest replacing the soil with frost stable material or preventing the soil from freezing since the lenses of ice develop forces in soil ground that affect all parts of the foundation. Pile driving in frozen soil can produce harmful frost actions [1].

The authors of a study [2] point out the problems of seasonal freezing ground on piles of solar power generation. The authors proposed a new approach of rehabilitation to address frost effects on piles as the ground may rise in cold weather which leads to the upward displacement of piles.

Research by Sarsembayeva [3] has shown the effect of de-icing chemicals on seasonal freezing of highway subsoil. The authors stated that removal of snow from road payments (pavements?) by spreading chemical de-icing reagents decreases the freezing point if the water in soils is made to be able to migrate.

The authors of a study [4] proposed a new technological solution that increases the efficiency of pile driving into seasonally frozen soils. The idea is to install a thermal vibrolider on the head of a pile hammer which decreases the density of frozen soil and allows the pile to drive into the frozen soil without drilling or other extra preparatory works.

A new type of pile filed with porous material was suggested by Li and Xu [5]. The authors claimed that this new type of pile decreases the gradient of soil temperature fluctuations. However, the disadvantage of such a solution is that the manufacture of such piles will be very costly. Also, there might be some difficulties in ensuring the quality of the backfill when the piles are driven into the ground.

The authors [6] have done research on the effects of frozen soil characteristics on the bearing capacity and settlement of the pile foundation. In the article, the authors have presented results of static load tests on model concrete piles (how long?) that have been driven into frozen soils with 10 cm freezing depth below the ground at a different temperatures -5C, - 20C.

Sri Sritharan et al. [7] investigated the effects of seasonal freezing of soil on lateral load response of bridge column-foundation, and its interaction and implications with soil. The authors have demonstrated two outdoor column foundation system test examinations during summer and winter at ambient temperatures of 23°C and -10°C, respectively, and have observed significant changes in the column and foundation due to drastic changes in the properties of soil caused by seasonal freezing. The authors noted that the design of pile foundations in seismic areas does not consider the seasonally freezing soil effects.

Another study [8] on modeling the response of cyclically loaded bridge columns into unfrozen and seasonally frozen ground has shown a comparison analysis of soil in warm and cold conditions. The experimental data presented the influence of temperature difference of soil on effective stiffness, maximum moment, moment location, shear demand, and length of the plastic region.

## 1.1 Sustainability

Considering the climate change impacts, it is important to support the sustainability of environmental, social, and economic domains by reducing waste and using fewer resources during the operations of construction. Using reagents can be an innovative idea in building a sustainable future by reducing carbon emissions and having a less negative impact on the environment.

Nowadays, energy use in the construction industry is still considered very high. All the heavy machines that are used in construction still depend on fossil fuels.

The number of green buildings and the move to achieve the green building certification is now growing over the world. However, Kazakhstan is still not active in achieving such projects as the USA, South Korea, Japan, and European countries. The term “green buildings” means a practice of building structures and the processes of construction using natural resources that are not only environmentally friendly but also support the quality of life by eliminating negative impacts on the environment.

## 2. Methods of field work and laboratory research of soils.

The purpose of the research is to see the thermal effect of the antifreeze reagent on soils in negative temperatures in the laboratory and at the construction site during the winter.

In the laboratory of the LLP “KGS-Astana”, the mechanical properties of the used soil were identified. The used soil was obtained from the construction site “Nur-Sultan Hospital” which is located in the capital of Kazakhstan -Nur-Sultan city.



Figure 2. Testing the soil for bearing capacity.

Based on the field description of the soils and the results of laboratory tests, the soils were divided into engineering-geological elements (IGE) in the stratigraphic sequence of their occurrence. The followings are the elements of the soil:

IGE-1. Topsoil -  $tQ_{IV}$

IGE-2. Loam -  $aQ_{III-IV}$

IGE-3. Sandy loam -  $aQ_{III-IV}$

IGE-4. Clay -  $aQ_{II-III}$

IGE-5. Fine sand -  $aQ_{II-III}$ ;

IGE-6. Sand of medium size -  $aQ_{II-III}$

IGE-7. Coarse sand -  $aQ_{II-III}$ ;

IGE-8. Gravelly sand  $aQ_{II-III}$

IGE-9. Clay - Pg33

Each allocated engineering and geological element are given specific values of indicators of physical and mechanical properties, given the movement and compression tests by laboratory methods and the consolidation of dredging.

### 2.1 Experiment in the laboratory.



In order to obtain comparative results, there have been three different boxes with soils. The first box was filled up with soil without the de-icing chemical reagent, whereas in the second box at the surface of the soil was sprayed the antifreeze reagent. Both boxes were put into the refrigerator. The third box was filled up with soil but kept at the room temperature. In order to see the effect of the antifreeze reagent, the model piles were driven into three boxes.

The boxes were made from wood with dimensions of 150 (length) x 70 mm (width) x 250 mm (height). The model piles were made from plastic and printed with 3D Printer (Figure 4). The size of piles was 10x10 mm (thickness) x 150 mm (length). The mass of each pile is 12 mg. The density of the plastic is 1.38 g/cm<sup>3</sup>. The piles were modeled from the piles with sizes of 40x40 (thickness) and 600 m (length) in a ratio of 1:40.



**Figure 3. Process of filling the box**      **Figure 4. Model piles made of plastic**

The first step to test the antifreeze reagent was the calculation of its consumption. There was a task to calculate the mass of antifreeze reagent needed to prevent soil freezing. In the winter months, chemical additives are usually used to thaw the ice and snow on roads. The study of Kiyalbayev [9] presented the equation for de-icing the roads by chemical reagents. Authors claimed that the main characteristics for the calculation of antifreeze reagent are the density of soil, concentration of antifreeze reagent, and frozen depth of the ground.

Based on his works and equation, the mass of antifreeze reagent needed for soil has been calculated. [may have to show the equation] Since the antifreeze reagent is used on top of the soil, the characteristics of sandy loam have been taken into account.

In order to identify the concentration of the reagent, the soil was tested at the refrigerator at different temperatures and concentrations. The results have been presented in Gibb's diagram below (Figure 5).



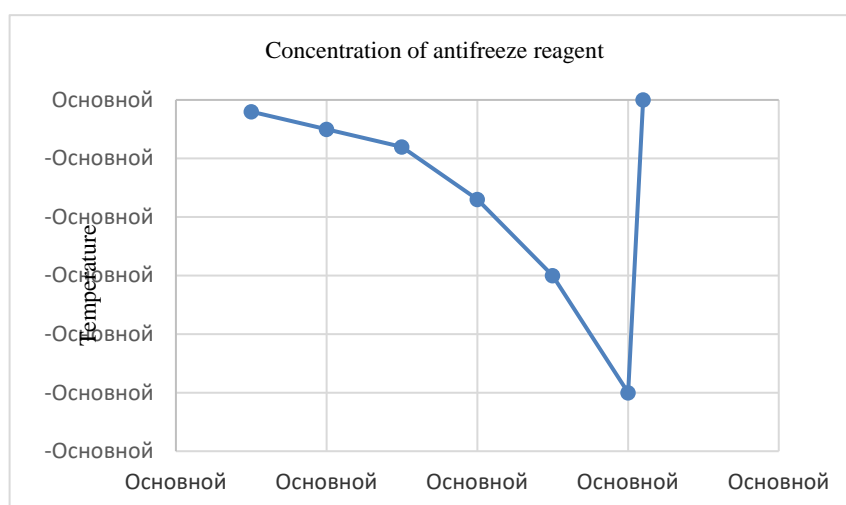


Figure 5. Gibbs diagram for antifreeze reagent

The physical and mechanical properties of sandy loam are known from the geological investigation and presented in Table 1.

Table 1.

№	The name of indicators	unit of measurements	Limit values		Average (normative) values
			min.	max.	
1	Natural humidity	%	6,25	8,0	6,74
2	Consistency		0,28	0,81	0,60
3	Soil density	g/cm <sup>3</sup>	1,60	2,01	1,79
4	Density of soil particles	g/cm <sup>3</sup>	2,35	2,80	2,59
5	Porosity coefficient	share units	0,385	0,686	0,542
6	Moisture degree	share units	0,256	0,440	0,326

According to the SNiP 23-01-99 (Building codes and regulations), the average temperature of the coldest five days in Nur-Sultan city is -37°C. Normative frozen ground depth is 205 cm according to SP RK 2.04-01-2017. From the table, it was calculated the mass of water in 1m<sup>3</sup> of soil, which was equal to 37 kg (is this for the water or soil? Your writing is for the soil). It is important to determine the depth of the soil which should be prevented from freezing. In this experiment, the depth was calculated for 10 cm.

The mass of the antifreeze reagent will be equated as below:

$$m_{anti.r.} = \frac{C_{anti.r.} * M_{water}}{100\% - C}$$

$$C_{anti.r.} = 25\% \text{ at the temperature } - 30 \text{ C}$$

$$m_{anti.r.} = \frac{25\% * 37 \text{ kg}}{100\% - 25\%} = 12.3 \text{ kg}$$

Locally for each pile with the size of 40x40, the mass of antifreeze reagent will be as follows:

$$0,4 * 0,4 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$12,3 \text{ kg} * 0,16 \text{ m}^2 = 1,79 \text{ kg}$$

## 2.2 Results of laboratory experiment

The first and third boxes were kept and monitored for 2 weeks in the freezing camera. The soil in the first box was unfrozen. The reagent has prevented the soil from freezing. The plastic pile was driven easily by the hammer in 13 hits (Figure 6).

Moreover, the piles were tested for static load in the freezing camera under different load conditions and in constant loads (increasing in steps). The ruler was used to measure the settlements of the pile. As for the loads, the dumbbells were used with different weights of 1 kg, 2 kg, 4kg, 5 kg, 6 kg, and 8 kg. The pile has started to settle from 4 kg for 0,1 mm, and at the first box results of the static load, test can be seen in Figure 7.

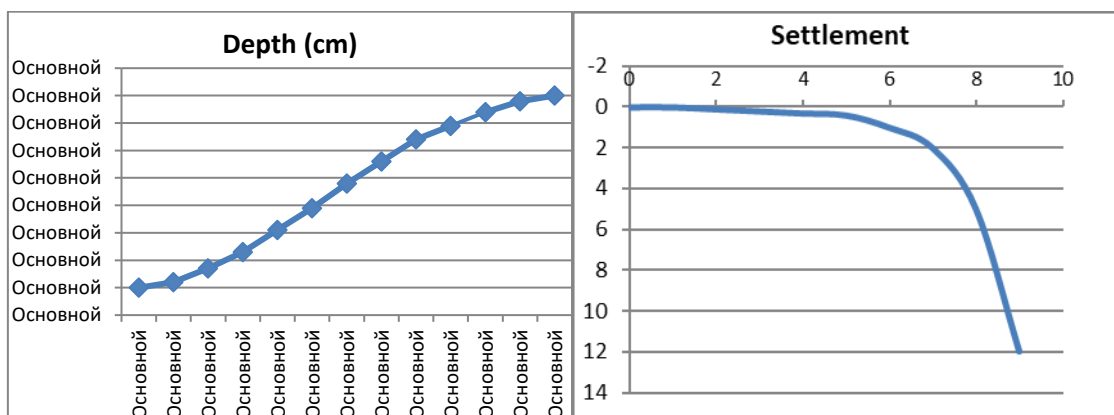


Figure 6. The results of pile driving in the first box (units, please)

settlement of pile in the first box (put down the unit)

Figure 7. The

The second box which was kept at room temperature +18 C also was tested for a static load test. The pile was fully driven in 8 hits by hammer (Figure 8). The pile under 8 kg was totally gone into the soil (Figure 9).

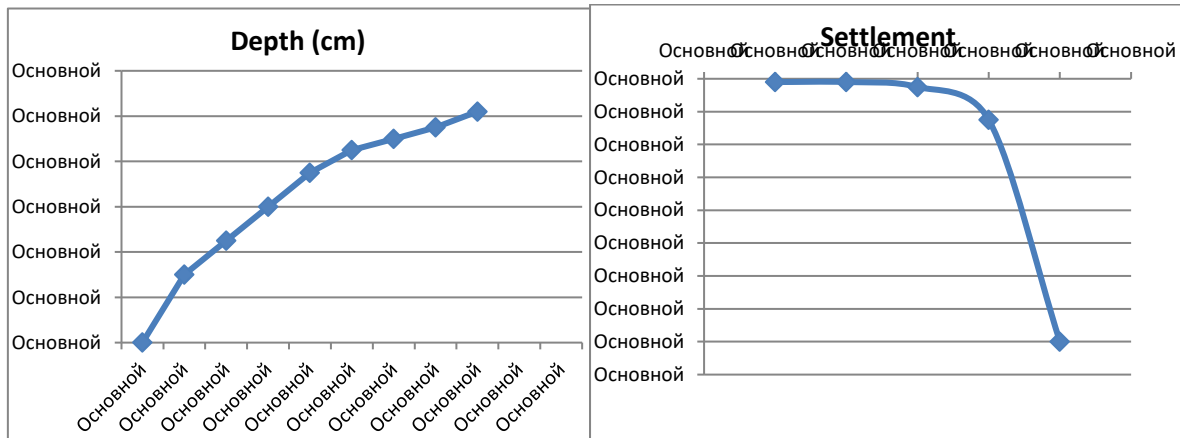


Figure 8. The results of pile driving in the second box.(unit, please)

Figure 9. The settlement of pile in the second box. (unit, please)

The third box which has no antifreeze reagent on the surface was fully frozen. The pile could not be driven after 100 hits and even after boring for 5 cm. The head of the plastic pile was damaged by excessive hittings.

### 2.3 Experiments at the construction site.

For the construction site during testing, the soil was already frozen and the outdoor temperature was -25 C. Freezing depth was -1.5 m. The chemical additives were applied locally in places of two piles (Figure 10). As the ground was covered by snow, there had been a chance to see other advantages of the chemical reagent. The places of piles where de-icing reagent was put had been monitored for two weeks. The day later, it has been noticed that the snow was fully melted by reagent. Also, there was a thawing effect from the reagent as the depth of unfrozen soil reached 3 cm.



**Figure 10. Spreading the antifreeze reagent on top of snow**  
**Figure 11. The pile installation on thawe**

After 14 days, the depth of thawed soil had reached 10 cm even if the outdoor temperature was -27 -30 C (which one is the temperature?). It has been decided to drive one of the piles without drilling and the second one into the already drilled hole. The differences in the installation were defined by the number of blows of the hammer. The number of blows on a place where antifreeze reagent was applied was 200 hits, while the pile on the drilled place was driven in 198 hits. Even if the method of driving those two piles was different, the number of hits in the installation was almost similar that showed the effectiveness and profitability of using antifreeze reagent.

### **Results and discussion**

Based on the test results, the antifreeze reagent has shown its effectiveness in protecting the soil in winter. The distinctive aspect of using the antifreeze reagent is the ability to protect the soil (from freezing?) and the simplicity of the method. Many traditional methods are directed to thawing or drilling the places of the piles. From an economic perspective, the method is cost-effective and environmentally friendly. Implementation of the proposed method of protecting the soil provides the potential for high productivity driving of reinforced concrete piles without the risk of their destruction. At the same time, there is no need to use more powerful hammers for driving piles in frozen soils.

Moreover, based on the studies, the equation of calculating the mass of antifreeze reagent has been created. Since the consumption of the reagent depends on the density and frozen depth of the soil, it is possible of using less reagent in other regions of Kazakhstan where the winter is not as cold and aggressive.

### **Conclusion**

The experiment results have shown that protecting method of soil from freezing is possible and cost-effective. During the process, it has been also found that the reagent is able to thaw the already frozen ground which makes it a more competitive tool in dealing with frozen soil during pile foundation construction. The main advantages of using reagent are its possibility of driving piles in wintertime without boring and testing them for bearing capacity. Since the chemical reagents keep the soil unfrozen even in cold weather it also decreases the compressibility of the soil. Consequently, there is no need for special equipment with high power that might destroy the heads and the structure of the concrete piles. Moreover, using this new method of preventing the soil from freezing decreases the blow counts, and helps to avoid driving the piles out of their places.

### **References**

1. Vaziri H., Han Y. Full-scale field studies of the dynamic response of piles embedded in partially frozen soils // *Canadian Geotechnical Journal*. - 1991. – T. 28. – P. 708–718.
2. Tahir K. Rehabilitation Techniques to Address Frost Effects on Pile Foundations of Solar Power Generation Facilities in North America // *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562. – 2018. – V. 13. - № 10. - P. 7333-7339.
3. Sarsembayeva A., Collins P. Evaluation of frost heave and moisture/chemical migration mechanisms in highway subsoil using a laboratory simulation method. - Elsevier: *Cold Regions Science and Technology*, 2016. – 26-35 p.

4. Verstov V., Serebrennikov A., Khritankovi V. Effective modes of driving piles into seasonally frozen Soil // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Т. 953. – P. 012032.
5. Li N., Xu B. A new type of pile used in frozen soil foundation // Cold Regions Science and Technology. - 2008. – Т. 53. - № 3. – P. 355-368.
6. Zhussupbekov A., Shin E.C., Shakhmov Z., Tleulenova G. Experimental study of model pilefoundations in seasonally freezing soil ground // International Journal of GEOMATE. - 2018. – Vol. 51. - № 15. – P. 85-90. DOI: 10 21660/2018 51 90835
7. Sritharan S., Suleiman M.T., White D.J. Effects of seasonal freezing on bridge column-foundation soil interaction and their implications // Earthq Spectra. – 2007. - Т. 23. - № 1. - P. 199 -222.
8. Wotherspoon L.M., Sritharan S., Pender M.J. Modelling the response of cyclically loaded bridge columns embedded in warm and seasonally frozen soils. Engineering Structures. - 2010. – № 32. – P. 933-943.
9. Kiyalbaev A.K., Erkibaeva A.S. Technological features of the use of chemical reagents to combat slipperiness on highways when emergency distribution method. Science News of Kazakhstan. - Almaty: KazGosINTI, 2004, No3. - 114-120 p.

**А.С.Монтаева<sup>1</sup>, А.Ж.Жусупбеков<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>ООО «Геотехнический центр», Санкт-Петербург, Ресей

<sup>2</sup>Санкт-Петербург мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Санкт-Петербург, Ресей

### **Қыста қадаларды орнату үшін топырақ қатуының алдын-алу әдісі**

**Аңдатпа.** Қыста қада қағудың қиындықтарының бірі – топырақтың мұз болып қалуы. Мұздатылған топырақтың тереңдігі Солтүстік және Орталық Қазақстанда екі метрге дейін жетеді, бұл суық айларда қада іргетастарын салуды қиындатады. Қадалардың сынуын болдырмау үшін, әдетте мұз болып қалған қабатын бұрғылау машиналарымен бұрғылайды. Бұл дайындық жұмыстары уақытты және қосымша ақшаны қажет етеді. Бұл мақалада біз антифриз реактивін қолдану арқылы топырақтың мұз болып қалуының алдын алудың жаңа әдісін ұсынамыз. Реагентті мұздатылған жерді еріту үшін де пайдалануға болады, бұл құрылыс жұмыстарын қыс айларында жүргізуге мүмкіндік береді. Статикалық жүктемені сынау кезінде антифриз реактиві қосылған топырақта, қадалардың көтергіштік қабілеті дәлірек көрсетті. Ғылыми және эксперименттік зерттеулер антифриз реактивінің мұз топырақтың сығылғыштығын төмендететінін анықтады.

**Түйін сөздер:** мұзтопырақ, қадаіргетасы, қадалар, статикалық жүктем сынағы, антифриз реактиві.



А.С.Монтаева<sup>1</sup>, А.Ж.Жусупбеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Геотехнический центр», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Россия

### Способ предотвращения промерзания грунта в местах забивки свай

**Аннотация.** Одна из частых проблем при забивании свай зимой — это мерзлый грунт. Глубина мерзлого грунта в Северном и Центральном Казахстане достигает двух метров, что затрудняет строительство свайного фундамента в зимний период. Во избежание разрушения свай обычно мерзлый слой грунта бурится буровыми машинами, что требует времени и дополнительных средств на подготовительные работы. В данной работе мы предлагаем новый способ предотвращения замерзания почвы с использованием противоморозного реагента. Реагент также можно использовать для оттаивания мерзлого грунта, что позволяет проводить строительные работы в зимние месяцы. Во время испытания на статическую нагрузку свай, забитые в грунт, обработанный противоморозным реагентом, показали более точные данные о их несущей способности. Научными и экспериментальными исследованиями установлено, что противоморозный реагент снижает сжимаемость мерзлого грунта.

**Ключевые слова:** мерзлый грунт, свайный фундамент, сваи, испытание на статическую нагрузку, противоморозный реактив.

### References

1. Vaziri H., Han Y. Full-scale field studies of the dynamic response of piles embedded in partially frozen soils, *Canadian Geotechnical Journal*, 28, 708–718 (1991).
2. Tahir K. Rehabilitation Techniques to Address Frost Effects on Pile Foundations of Solar Power Generation Facilities in North America, *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(13), 7333-7339 (2018).
3. Sarsembayeva A., Collins P. Evaluation of frost heave and moisture/chemical migration mechanisms in highway subsoil using a laboratory simulation method (Elsevier: Cold Regions Science and Technology, 2016, 26-35 p.).
4. Verstov V., Serebrennikov A., Khritankovi V. Effective modes of driving piles into seasonally frozen Soil, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 953, 012032 (2020).
5. Li N., Xu B. A new type of pile used in frozen soil foundation, *Cold Regions Science and Technology*, 3(53), 355-368 (2008).
6. Zhussupbekov A., Shin E.C., Shakhmov Z., Tleulenova G. Experimental study of model pilefoundations in seasonally freezing soil ground, *International Journal of GEOMATE*, 15(51), 85-90 (2018). DOI: 10 21660/2018 51 90835
7. Sritharan S., Suleiman M.T., White D.J. Effects of seasonal freezing on bridge column-foundation soil interaction and their implications, *Earthq Spectra*, 1(23), 199 -222 (2007).

8. Wotherspoon L.M., Sritharan S., Pender M.J. Modelling the response of cyclically loaded bridge columns embedded in warm and seasonally frozen soils. *Engineering Structures*, 32, 933-943 (2010).

9. Kiyalbaev A.K., Erkibaeva A.S. Technological features of the use of chemical reagents to combat slipperiness on highways when emergency distribution method. *Science News of Kazakhstan (Almaty: KazGosINTI, 2004, No3, 114-120 p.)*.

Information about authors:

**Айнур Монтаева** - ООО «Геотехнический центр», Санкт-Петербург, Россия

**Аскар Жусупбеков** - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Ainur Montayeva** - LLC Engineering Geotechnical Center, Saint-Petersburg, Russia.

**Askar Zhussupbekov** - Department of Geotechnics, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia.

Ж.К. Абдуғұлова, А.М. Акбарақова

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
(E-mail: [janat\\_6767@mail.ru](mailto:janat_6767@mail.ru), [rai.arai95@mail.ru](mailto:rai.arai95@mail.ru))*

### **Киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылым объектілерінің жұмыс істеу сенімділігін қамтамасыз етуді модельдеу**

**Аңдатпа.** Осы зерттеу шеңберінде базалық платформа ретінде бұлтты есептеулерді пайдаланатын өндірістік киберфизикалық жүйе архитектурасының құрылымдық моделі құрылған. Ұсынылған киберфизикалық жүйені абстракцияның төрт деңгейінде, мультиагенттік тәсіл негізінде барлық элементтерді біріктіреді. Мониторинг жүйесінің деректерін зияткерлік талдау әдістері негізінде ұсынылған тәсіл бұлтты платформа базасында орналасқан киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылымының сенімділік тұрғысынан осал элементтерін іздестіруге және анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеуде желі элементтерінің ағымдағы жай-күйіне шоғырландырылған бағалау жүргізу үшін мониторинг жүйесінен алынған деректерді жинау, талдау және верификациялау жоспарын қалыптастыратын өлшенген мультиграф түрінде ұсынылған желілік инфрақұрылым объектілерінің жұмыс істеу сенімділігін қамтамасыз ету моделі әзірленді. Бұл ретте, бағанның шыңы ретінде киберфизикалық жүйенің инфрақұрылымы мен бұлтты платформа үшін сенімділікті қамтамасыз ету параметрлері таңдалған. Доғалар ретінде баған деректердің айналмалы ағындарының ағымдағы параметрлерін ескере отырып, киберфизикалық жүйенің байланысқан тораптарының жұмыс жағдайы мен параметрлері арасындағы өзара байланысты көрсететін сенімділіктің белгіленген өлшемдері арасындағы байланыстар берілген. Бұл жүйе сегменттерін анықтауға мүмкіндік береді, бұл өзгерістер енгізу үшін қажетті үстеме шығыстарды қысқартады. Бұл ретте киберфизикалық жүйенің үздіксіз инфрақұрылымын болжау үшін нейрожелілік тәсіл қолданылады. Ұсынылған гибриді тәсілді пайдалану уақыт өте келе инфрақұрылымның мінез-құлқын болжауға және жекелеген компоненттер мен аса маңызды тораптардың жұмысындағы мүмкін болатын іркілістер туралы ескертуге мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** Киберфизикалық жүйе, бұлтты платформа, нейрондық желі, сенімділік.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-88-97](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-137-4-88-97)

### **Кіріспе**

Киберфизикалық жүйелерді (КФЖ) пайдалану нұсқалары жыл сайын кеңейуде. Бүгінгі

таңда киберфизикалық жүйелер көптеген қосымшаларға, соның ішінде жоғары сенімділікті қажет ететін және маңызды инфрақұрылымның жұмыс істеуін қамтамасыз етуге қабілетті. Киберфизикалық жүйелердің ерекшелігі өңделген мәліметтердің едәуір мөлшері болып табылады. Бұл факт барлық негізгі инфрақұрылым элементтерінің архитектурасын ұйымдастырудың басқа тәсілдерін әзірлеуді талап етеді. Әдетте, киберфизикалық жүйе - бұл көптеген өзара байланысты элементтері бар көп деңгейлі есептеу платформасы. Сонымен қатар, оның элементтерін соңғы пайдаланушы да, оның контроллерінде іске асырылатын ақылды алгоритмдер арқылы да басқаруға болады. Әдетте, киберфизикалық жүйе интернет заттарының (Internet of Things, IoT) технологиялық базасына негізделген [1]. Бұл КФЖ-нің барлық элементтері бір-бірімен тығыз байланысты екендігіне байланысты. Бұл функция осындай инфрақұрылымды тиімді басқару және оның сенімділігін қамтамасыз ету жүйесін ұйымдастыру аясында шешілетін есептердің күрделілігінің экспоненциалды ұлғаюымен түсіндіріледі. Бұл мәселені шешу үшін көптеген әдістер мен тәсілдер бар.

Осындай тәсілдердің бірі бұлтты есептеу технологиясына негізделген зияткерлік басқару жүйелерін қолдану. Киберфизикалық жүйе аясында есептеулерді ұйымдастыру процесін басқарудың қолданыстағы әдістері әдетте тұтас ансамбльді қолданады. Олар негізінен иерархиялық, желілік-центрлік, матрицалық және ситуациялық басқаруды қолдануға негізделген. Алайда, олар бұлтты есептеу технологиясын қолдану кезінде туындайтын міндеттердің жоғары құрылымдық күрделілігі жағдайында жеткілікті тиімділікті қамтамасыз етпейді. Ақпараттың үлкен көлемін өңдеу мәселесі де маңызды мәселе болып табылады, бұл ақпараттың көлемінен басқа, сонымен қатар көптеген сілтемелер жасайды. Бұлтты жүйелер үшін контроллер деңгейінде тек интеллектуалды желіні басқаруды қолдану ең тиімді болып табылатындығын атап өткен жөн.

Киберфизикалық жүйелердің тағы бір ерекшелігі - деректерді сақтау мен өңдеуге жауапты инфрақұрылым элементтері мен ақпарат көздерінің арасындағы телекоммуникациялық өзара әрекеттесудің жоғары қарқындылығы, бұл ресурстарды уақтылы түзетуді және олардың жұмысының сенімділігін қамтамасыз етуді талап етеді. Осыған байланысты бұлтты платформаларға негізделген қолданыстағы шешімдердің де бірқатар кемшіліктері бар. Біріншіден, бұл инфрақұрылымның күрделілігі. Бұл аспект, әсіресе әртүрлі гетерогенді бұлтты платформалар әртүрлі бағдарламалық және аппараттық шешімдерді қолдана отырып өзара әрекеттескенде, сенімділік проблемаларын тудырады. Екіншіден, бір бұлтты платформадан екіншісіне деректерді беру кезінде қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету күрделілігі. Бұл киберфизикалық жүйелердің инфрақұрылым нысандарының жай-күйі туралы мониторинг деректерін алмасудың қол жетімді әдістері мен құралдарының жоқтығымен байланысты. Киберфизикалық жүйенің әртүрлі элементтерінің тиімді өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету үшін уақыт өте келе ағымды болжау үшін желінің топологиясы мен параметрлері туралы сенімді ақпарат қажет.

Айта кету керек, қолданыстағы киберфизикалық жүйелер, негізінен, бағдарламалық жасақтамамен конфигурацияланған желілерде қолданылатын мәліметтер ағындарының байланыс сызбаларына адаптивті түзету механизмдерін пайдаланбайтын дәстүрлі желілерде жұмыс істеуге бағытталған. Негізінен, қолданыстағы шешімдер реактивті принципке сәйкес жұмыс істейтін дәстүрлі бағыттау әдістерін қолдануға бағытталған - деректер беру жолдары тораптар арасында деректер ағындарының пайда болу сәтіне қойылады [2, 3]. Бұл тәсіл деректерді тасымалдау маршруттын орнатудың белгілі бір кідірісін тудырады, сонымен қатар маршруттағы желілік құрылғылар немесе байланыс желілері істен шыққан жағдайда, арнаның жүктемесі өзгерген кезде оны өзгерту үшін уақыт қажет. 2.1 Experiment in the laboratory.

Сонымен қатар, желілердегі параллельді ағындар негізінен киберфизикалық немесе бұлтты жүйені тұрақсыз күйге келтіретін теріс фактор ретінде қарастырылады және нәтижесінде оның сенімділігі төмендейді.

### Зерттеу әдістемесі

Қолданыстағы сенімділік жүйелерінің негізгі жетіспеушілігі - киберфизикалық жүйелердің инфрақұрылымын пайдалану кезінде болатын оқиғалар мен жағдайларды тиімді болжаудың болмауы. Сонымен қатар, қолданыстағы жүйелер инфрақұрылым нысандарының жай-күйі туралы қол жетімді мәліметтер негізінде өздігінен білім алу мүмкіндіктерін толық пайдаланбайды. Бұл өз кезегінде алынған деректердің эвристикалық талдауын пайдаланбайтын мониторинг жүйелерінің жеткіліксіз тиімді жұмыс істеуімен байланысты.

Осылайша, қазіргі уақытта киберфизикалық жүйелерді тиімді басқаратын және олардың сенімділігін қамтамасыз ететін әмбебап шешімдер жеткіліксіз екендігі анықталды. Ресурстар мен деректер ағындарын икемді басқаруға және жоспарлауға қабілетті бейімделетін және заманауи инфрақұрылымды құру үшін осы кластағы жүйелердің жұмысын ұйымдастырудың гибриді әдістері мен тәсілдерін дамыту қажет. Шешілетін мәселенің ғылыми маңыздылығы киберфизикалық жүйелер үшін телекоммуникациялар мен есептеу инфрақұрылымын ұйымдастырудың жаңа тәсілдерін сипаттайтын жаңа әдістер мен модельдерді жасауда, сонымен қатар оның сенімділігін қамтамасыз ететін әдістерді әзірлеуде жатыр.

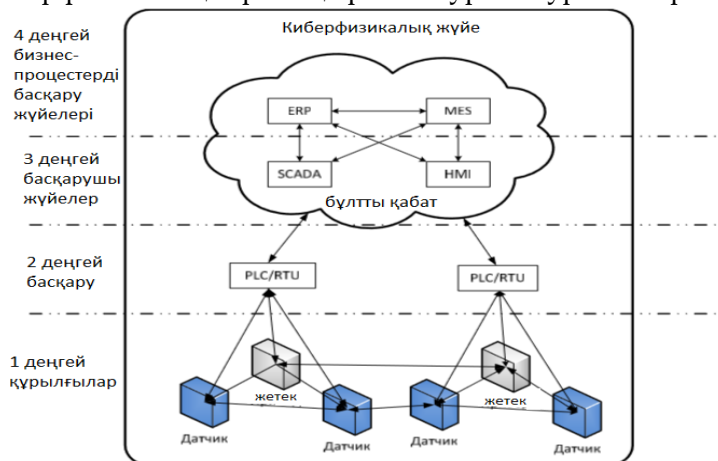
Зерттеулерге шолу қазіргі уақытта киберфизикалық инфрақұрылымның сенімділігін қамтамасыз ету проблемасы өте өзекті мәселе болып табылады және қазіргі заманғы әдістер мен тәсілдерге сүйене отырып, оны қамтамасыз етудің жаңа шешімдерін әзірлеу қажет. Атап айтқанда, сенімділікті қамтамасыз ету үшін кешендегі келесі мәселелер тізбесін шешу қажет:

- белсенді қағиданы қолдана отырып, киберфизикалық инфрақұрылым желісінің бағдарламаланатын сегменттері шеңберінде деректер ағындарының тиімді бағыттауын ұйымдастырады;

- киберфизикалық жүйелердің ресурстарын басқару жүйесінің параметрлерін өзгертуге бейімділікті қамтамасыз ету;

- киберфизикалық жүйенің әр элементі деңгейіндегі талаптардың сәтсіздікке және динамикалық өзгерістерге тұрақтылығын қамтамасыз ету [3].

Киберфизикалық жүйелердегі сенімділікті қамтамасыз етудің әдіснамасын жасауға кірісу үшін инфрақұрылым моделін құру және оның элементтерінің жұмыс тұрақтылығына әсерін бағалау қажет. Осы зерттеу аясында бұлттық есептеуді базалық платформа ретінде пайдаланатын өндірістік киберфизикалық жүйені қарастырамыз. Сенімділікті қамтамасыз ету үшін бұлтты технологияны қолданатын киберфизикалық жүйенің архитектурасы суретте көрсетілген.



Сурет 1- Киберфизикалық жүйенің архитектурасы

Жүйенің бұл түрі үшін киберфизикалық жүйенің компоненттерін абстракциялаудың 4 деңгейін бөлуге болатындығы анықталды. Базалық деңгейде (1 деңгей) өндірістік құрылғылардан мәліметтерді тікелей жинауға жауап беретін құрылғылар (сенсорлар, қоздырғыштар) тікелей орналасқан. Келесі деңгейге (2-деңгей) 1 деңгейде орналасқан киберфизикалық жүйенің соңғы құрылғыларымен басқаратын және өзара әрекеттесетін аралық бақылаушылар (мысалы, PLC, RTU және т.б.) жатады. 3 деңгейде өндіріс процесінде кешенді бақылауды жүзеге асыратын басқару жүйелері бар (SCADA, HMI). Жоғары деңгейде бизнес-процестерді басқаруға, ERP және басқаларға жауапты жүйелер бар. Соңғы екі деңгей әдетте бұлтты платформаның ішінде орналасады. Бұл ресурстарды масштабтау және басқаруды орталықтандыру арқылы шығындарды азайтуға және киберфизикалық жүйенің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Өз кезегінде, осы контексте киберфизикалық жүйелерді енгізу алдыңғы қатарлы цифрлық технологияларды енгізуді, атап айтқанда нақты уақыт режимінде физикалық құрылғылардан деректерді жинаудың тиімділігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін құрылғылардың қосылуын ұйымдастырудың және есептеу ресурстарын бөлудің заманауи құралдарын қолдануды білдіреді.

Киберфизикалық жүйелердің жұмысын бағалауда қосымшалар мен қызметтердің сенімділігі мен қол жетімділігі маңызды рөл атқарады. Осыған байланысты инфрақұрылымның жоғары сенімділігін қамтамасыз ету үшін орналастырылған бағдарламалық жасақтаманы өмірлік циклді тиімді басқаруды қамтамасыз ету қажет. Бұлтты бағдарламалық жасақтаманың жұмысындағы негізгі сәтсіздіктер жүйелік ресурстардың сарқылуына, деректердің үзіндісі мен қателіктердің жиналуына байланысты болады.

Ақаудан кейін жүйені қалпына келтіру киберфизикалық жүйенің де, бүкіл инфрақұрылымның да сенімділігін қамтамасыз етудің ажырамас бөлігі болып табылады. Бұл жағдайда негіз өзін-өзі басқаруға байланысты мұндай жүйенің автономды жұмыс істеу мүмкіндігі болуы керек. Сондықтан, осы зерттеу аясында киберфизикалық жүйенің ресурстары бір-біріне тұтынушылар мен жеткізушілер ретінде әрекет ететін автономды бірліктер (агенттер) ретінде қарастырылады. Киберфизикалық жүйенің әрбір объектісі келесі параметрлер жиынтығы ретінде ұсынылуы мүмкін:

$$Obj_i = \{p_{i,1}, \dots, p_{i,n}\} \quad (1)$$

мұнда,  $p_{i,1}$  - киберфизикалық жүйенің инфрақұрылым объектісінің түрін анықтайды;  $p_{i,2}$  - киберфизикалық жүйенің инфрақұрылым объектісінің нақты данасының сенімділігінің жиынтық көрсеткіші;  $p_{i,1}, \dots, p_{i,n}$  - сенімділікке әсер ететін киберфизикалық жүйенің инфрақұрылым объектісінің жеке параметрлері. Киберфизикалық жүйенің сенімділігін қамтамасыз ету моделін толығырақ сипаттайық.

Желілік элементтердің ағымдағы жай-күйін шоғырландырылған бағалауды жүргізу үшін, мониторинг жүйесінен алынған мәліметтерді жинау, талдау және тексеру жоспарын құра отырып, өлшенген  $G$  мультиграф түрінде ұсынылған желілік инфрақұрылым объектілерінің жұмысының сенімділігін қамтамасыз ету моделі жасалды:

$$G = \{V, A\}. \quad (2)$$

Сонымен қатар, кестенің шыңдары ( $V$ ) ретінде киберфизикалық жүйенің және бұлтты платформаның жеке құрамдас бөліктері мен тораптарының сенімділігін қамтамасыз ету параметрлері таңдалды. ( $A$ ) бағанының доғалары ретінде ағымдағы мәліметтер ағынын ескере отырып, киберфизикалық жүйенің инфрақұрылымының қосылған түйіндерінің күйі мен жұмыс параметрлері арасындағы байланысты көрсететін сенімділіктің белгіленген өлшемдері арасындағы қатынастар ұсынылған.

Сенімділік көрсеткіштері туралы толығырақ тоқталайық. Киберфизикалық жүйе объектілерінің өзара әрекеттесуі аясындағы басты мәселе - түйіндер арасында тұрақты байланыс арнасын ұйымдастыру. Сонымен, телекоммуникациялық деректермен алмасудың сенімділігі бойынша,



біз киберфизикалық жүйенің жеке түйіндерінің әр сәтте әр уақытта болуы және олардың белгілі бір уақыт аралығында проблемасыз өзара әрекеттесуін айтамыз.

Киберфизикалық жүйелер құрылымдық жағынан күрделі және көп деңгейлі нысандар болғандықтан, байланыс арналарының сенімділігі байланысты болатын деңгейлерді анықтаймыз:

Инфрақұрылым деңгейі деректер базасының датчиктері мен құрылғыларының аппараттық құрамдас бөліктерінің сенімділігін анықтайды.

Сәулет деңгейі киберфизикалық жүйенің жеке құрамдас бөліктерінің де сенімділігін, сондай-ақ бұлтты платформада орналастырылған бағдарламалық қамтамасыз ету жүйелері арасында желілік және есептеу ресурстарын ұсыну және тарату бойынша бірлескен жұмысын анықтайды.

Қосымшалар деңгейі бұлтты платформаның сәулеті мен инфрақұрылым деңгейлеріндегі сәтсіздіктер мен ақауларға қатысты корпоративтік ақпараттық жүйенің сенімділігі мен тұрақтылығын анықтайды.

Осылайша, аталған деңгейлердің әрқайсысы бұлтты платформа негізінде орналасқан бүкіл киберфизикалық жүйенің сенімділігіне әсер етеді. Сондықтан мұндай жүйенің болуы ( $Cs$ ) барлық деңгейдегі көрсеткіштердің көбейтіндісі ретінде анықталады:

$$Cs = \prod_{i=1}^n C_i \quad (3)$$

мұндағы  $Cs$  - бүкіл киберфизикалық жүйенің жалпы қол жетімділігі;  $C_i$  - киберфизикалық жүйеде атқаратын рөліне байланысты және жеке индикаторларға сәйкес анықталған деңгейлердің әрқайсысының қол жетімділігі;  $n$  - жүйенің сенімділігін таадау кезінде анықталған деңгейлер саны.

Әдетте, киберфизикалық жүйенің инфрақұрылымында негізгі компоненттердің, соның ішінде қосалқы байланыс каналдарының, суық және ыстық резервтегі есептеу түйіндерінің жеткілікті мөлшерде болуы. Алайда бұл тәсіл қосымша ресурстарды қолдануды талап етеді, бұл біз шешетін проблема аясында әрдайым мүмкін емес.

Киберфизикалық жүйеде сәтсіздіктердің пайда болу процесі кездейсоқ және тәуелсіз болғандықтан, оны кездейсоқ шаманы бөлу функциясы ретінде қарастыруға болады. Киберфизикалық жүйенің архитектурасының кез-келген деңгейі үшін тарату заңдарды қолдана аламыз, өйткені сәтсіздік мәліметтер ағынының қарқындылығына байланысты болады. Қателіктер киберфизикалық жүйенің белгілі бір деңгейіне келіп түсетін мәліметтер ағынымен бірдей таралу заңына ие делік. Содан кейін біз киберфизикалық жүйенің жұмысын параметрлердің жұп тізбегі ретінде елестетеміз

$$(X_i, Q_i), \quad (4)$$

мұнда  $X_i$  - бұл жұмыс уақыты,  $Q_i$  - қызмет көрсетуден бас тартудың ұзақтығы.

Сонымен қатар,  $X_i \geq 0$  және  $Q_i \geq 0, i = 1, 2, \dots$  шамалары.

Жалпы, сәтсіздік деңгейі келесідей анықталады

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{R(x)} \quad (5)$$

мұндағы  $f(x)$  - бөлу тығыздығы;  $R(x) = 1 - F(x)$  - киберфизикалық жүйенің немесе оған кіретін желілік инфрақұрылымның берілген деңгейі үшін тарату заңымен анықталған сенімділік функциясы.

Киберфизикалық жүйенің барлық объектілері стационарлық режимде қарастырылатындықтан, дайындық коэффициентін келесідей көрсетуге болады:

$$K = \frac{EX}{EX+EQ} \quad (6)$$

мұндағы  $EX$  және  $EQ$  - математикалық күтулер.

Графиктің әр күйі оқиғаның  $P_n$  ықтималдығымен өлшенеді.

Оқиғаның басталу қарқындылығы келесі параметрлермен анықталады: қалпына келтіру күйі үшін  $\lambda$  және сәтсіздік күйіндегі  $\mu$ . Негізгі ықтималдық сипаттамалары уақыт бойынша тұрақты болған кезде киберфизикалық жүйенің тұрақты жұмыс режимін қарастыруға бел буамыз. Сонда әр мемлекет үшін ағынның қарқындылығы теңестіріледі:

$$P_0 * \lambda = P_1 * \mu. \quad (7)$$

Сондықтан киберфизикалық жүйенің жұмысын сипаттайтын теңдеулерді келесідей

көрсетуге болады:

$$\begin{cases} P_0 * \lambda - P_1 * \mu = 0; \\ P_0 + P_1 = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Сонда ақпараттық жүйенің тоқтап қалу ықтималдығы келесідей көрініс табады:

$$P_1 = P_0 * \lambda / \mu. \quad (9)$$

$P_0$  дайындығының ықтималдығын анықтау үшін (8) теңдеулер жүйесінен өрнекті түрлендіреміз:

$$P_0 + P_0 * \frac{\lambda}{\mu} = 1; \quad P_0 = \frac{1}{(1+\lambda/\mu)} \quad (10)$$

Киберфизикалық жүйенің тоқтап қалу ықтималдығын келесі өрнек арқылы анықтауға болады

$$P_1 = 1 - P_0 = 1 - \frac{\mu}{(\mu+\lambda)} \quad (11)$$

Киберфизикалық жүйенің барлық элементтері тәуелсіз агенттер ретінде жұмыс істейтіндіктен, архитектураның әр деңгейіне есеп жүргізуге болады. Аналитикалық есептеуді әр ақпараттық жүйенің жұмысы туралы статистикалық мәліметтерді пайдалана отырып жүргізуге болады. Біз келесі белгіні енгіземіз:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j, \quad \bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_j \quad (12)$$

Сонда К қол жетімділік коэффициентін өрнектің көмегімен алуға болады

$$\hat{K} = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \bar{Q}} \quad (13)$$

Қол жетімділік коэффициентін есептеу әдістемесі осы сыныптың жүйелерін құруда қолданылатын стандартты құралдармен салыстыру арқылы сенімділікті қамтамасыз ету үшін әзірленген алгоритмдік шешімдердің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Сенімділіктің қажетті деңгейін қамтамасыз ету және киберфизикалық жүйенің үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін сәтсіздікке неғұрлым сезімтал тораптар мен байланыс арналарын анықтау қажет. Оны орындау үшін (1) –ші формулада сипатталған белгілер жиынтығына сәйкес жүйенің барлық элементтерін жіктеуге мүмкіндік беретін тәсілді қолданамыз.

### Талқылау

Киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылымының объектілерін жіктеу үшін біз көп қабатты перцептрондық архитектурасы бар нейрондық желіні қолданамыз. Нейрондық желінің кірісіне біз (1)-ші тізімде көрсетілген параметрлерді жібереміз. Шығару кезінде нейрондық желі барлық киберфизикалық жүйенің ағымдағы жағдайын ескере отырып, қол жетімділік коэффициентін есептеу негізінде объектілердің әрқайсысына сенімділік класын тағайындайды. Бұл қайта құруды қажет ететін жүйенің сегменттерін анықтауға мүмкіндік береді және өзгерістер енгізуге қажет шығындарды азайтады.

1-қадам. Желілік топологияны бастаңыз және Дейкстра алгоритмін қолданып, киберфизикалық жүйенің әр элементі үшін негізгі жол ретінде кідіріспен жолды таңдаңыз.

2-қадам. Киберфизикалық жүйе зерттелген элементінің сенімділігін сипаттайтын нейрондық желі параметрлерін енгізіңіз.

3-қадам. Желінің шығысын  $u(x)$  есептеңіз.

4-қадам. Берілген вектор үшін желі шығысы мен қажетті мән арасындағы айырманы есептеңіз:

$$E(w) = 1/2 (d - y)^2$$

5-қадам. Егер таңдалған векторды жіктеу кезінде қате пайда болса, онда алдымен желінің салмағын шығыс пен жасырын қабаттар арасындағы рет-ретімен түзетіңіз:

$$\Delta w_{ji} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial z_j} \frac{\partial z_j}{\partial w_{ji}},$$

содан кейін жасырын және кіріс арасындағы

$$\Delta w_{ji} = \eta [(d - y) f'(\sum_{i=0}^H v_i z_i) v_j] f'(\sum_{t=0}^P w_{jt} x_t) x_i.$$

6-қадам. Барлық жиынтықтағы қателік рұқсат етілген деңгейге жеткенше жаттығулар жиынтығының әр векторы үшін 3-6 қадамдарды қайталаңыз. Желілік инфрақұрылым элементі үшін берілген сенімділік класына сүйене отырып, киберфизикалық жүйенің сенімділігін арттыру үшін келесі әрекеттер тізбегінің бірі қолданылады.

1. Егер киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылымының элементі тексеру кезінде сенімді емес деп танылса, онда инфрақұрылымның сенімділігін арттыру үшін бұл элемент резервке қойылады. Бұл оқиға объектінің параметрлері мен сенімділігіне жауап беретін сипаттамаларын көрсете отырып, мәліметтер базасында тіркеледі. Осы объектінің барлық ағындары оңтайлы жолдарды таңдаудың алдын-ала жасалған алгоритміне сәйкес қайта бағытталады [5]. Деректер базасы осы нысанды келесі қарап шығудың жаңа уақыт белгісін орнатады.

2. Егер киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылымының элементі тексеру кезінде сенімді деп саналса, онда ол үшін сенімділікті басқару жүйесінің деректер базасында тиісті белгі қойылады және келесі тексеруге жаңа уақыт белгісі тағайындалады.

## Нәтижелер

Ұсынылған нейрондық желіні қолдану уақыт өткен сайын киберфизикалық жүйенің инфрақұрылымы элементтерінің әрекетін болжайды және жекелеген компоненттер мен критикалық тораптардың жұмысындағы мүмкін болатын сәтсіздіктер туралы ескертеді.

Сенімділікті қамтамасыз етудің әзірленген әдістемесін тәжірибелік зерттеу үшін біз IntelliSense интеллектуалды шешім технологиясын Қазақстанда танымал алтын құймаларын өндіруші, модельдік цифрлық фабрикалар арасында көшбасшылардың бірі болып табылатын «Алтын Алтыналмас» АҚ Ақтоғай филиалының алтын өндіретін фабрикасында енгізу технологиялық процесті және үлкен деректерді басқаруды болжамды талдау үшін нейрондық желілердің күрделі моделін құруға мүмкіндік береді. Ақтоғайдағы алтынды байыту фабрикасы - бұл Қазақстанда жасанды интеллект технологияларын қолдану арқылы шардың жүктелу деңгейін және ішкі төсемдердің тозуын болжауға мүмкіндік беретін, сондай-ақ диірмен кешенінің шамадан тыс жүктелуін болдырмайтын, өндіріс процесінің мөлдірлігінің артуына және диірменнің тоқтап қалуының азаюына алып келетін алғашқы өндіріс болып табылады. Сонымен бірге магистральді тау-кен өндірісін цифрландыру жобаларын іске асыру шеңберінде «Казцинк» ЖШС, «Eurasian Resources Group» және «Өскемен титан-магний комбинаты» АҚ Pitram, ERP, персоналды басқарудың мобильді жүйесі, балансты есептеу және жобаны Качарский карьерінде жүзеге асырды. Бұл жобаларда озық технологиялар қолданылды: ERP датчиктері, борттық компьютерлер, спутниктік орналастыру, барлығы нақты уақыт режимінде. Питрам өндірісті жедел басқару мәселелерін шешеді. Борттық компьютерлер LHD кабиналарында орнатылған, оған жүргізушілер нақты уақыт режимінде кеңді тиеу, тасымалдау және түсіру туралы мәліметтерді енгізеді. Жүйе автоматты түрде драйвердің өнімділігін бір ауысымда есептейді және ақпаратты Wi-Fi кіру нүктесі арқылы серверге жібереді, содан кейін оны өңдейді. Персоналды сәйкестендіру жүйесі өз кезегінде қызметкерлер мен жабдықтардың қозғалысын нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді.

Датчиктер тау-кен фонарларына орнатылған. «Алтын алмас» кәсіпорындарының бірінің киберфизикалық жүйесінің желілік инфрақұрылымының бір бөлігін таңдадық. Зерттеліп жатқан киберфизикалық жүйе өз жұмысында OpenStack негізінде құрылған бұлтты платформаны пайдаланады. Киберфизикалық жүйе таңдалған сегментінде 50 желілік торап және 140 байланыс каналы бар.

### Қорытынды

Тәжірибелік зерттеу екі кезеңде болды. Бірінші кезеңде бастапқы мәліметтерді алу үшін желі параметрлері зерттелді. Берілген параметрлерге сәйкес киберфизикалық жүйенің архитектурасының әр деңгейіне дайындық коэффициенттері алынған. Таңдалған желі сегментіндегі жауап уақыты өлшенді. Екінші кезеңде зерттеу қайталанды, бірақ нейрондық желі негізінде сенімділікті қамтамасыз ету алгоритмі қолданылуда. Киберфизикалық жүйенің инфрақұрылымы 1-ші кестеде келтірілген.

Зерттелетін параметр	Кесте 1	
	1-Кезең	2-Кезең
1-деңгей	K=0,40	K=0,45
2-деңгей	K=0,45	K=0,65
3-деңгей	K=0,82	K=0,95
4-деңгей	K=0,90	K=0,98
Желіге жауап беру уақыты, м/с	60	30

Зерттеу көрсеткендей, ұсынылған тәсіл сәулет деңгейіне байланысты киберфизикалық жүйенің сенімділігін 5-тен 13% -ға дейін жақсартады. Бірінші деңгейдегі тиімділіктің төмендігі тәжірибелік желіде қолданылатын соңғы құрылғылардың аппараттық шектеулеріне байланысты. Сонымен қатар, үшінші деңгейдегі жоғары тиімділік жоғары тиімді бұлтқа негізделген шешімдерді қолдану арқылы анықталады. Желіде жауап беру уақытын 50% қысқарту сенімділік үшін желінің элементтерін диагностикалау процесінде маршрутты оңтайландыруға байланысты.

Осылайша, зерттеу аясында бұлтты платформаның көмегімен орналастырылған киберфизикалық жүйенің архитектурасын сипаттайтын модель жасалды. Киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылымы элементтерінің сенімділігін бағалау әдістемесі жасалды. Алгоритмдік шешім синтезделеді, бұл мәліметтер ағындарын тиімді тарату және құрылғылардың жағдайын талдау арқасында киберфизикалық жүйенің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл киберфизикалық жүйенің желілік инфрақұрылымында маршруттарды оңтайландыру үшін мүмкін болатын қиындықтарды анықтауға мүмкіндік береді. Өзірленген шешімдердің негізгі артықшылықтары:

- байланыс компоненттерін және желілік бәсекелестікті есепке алу;
- желілік құрылғылар арасындағы пакеттерді таратудың кешігуі ескеріледі;
- киберфизикалық жүйенің виртуалды және физикалық топологиясын есепке алу;
- мәліметтер ағынының түріне және қарқындылығына, желілік ресурстардың жиналуы мен сенімділігіне байланысты бағыттарды таңдауды қамтамасыз ету.

### Әдебиеттер тізімі

1. Ся Ф., Янг Л.Т., Ванг Л., Винель А. Заттардың ғаламторы // Байланыс жүйелерінің халықаралық журналы. – 2012. - Т. 25. - № 9. - Б. 1101. DOI: 10.1002 / dac.2417.
2. Цветков В.Я., Алпатов А.Н. Таратылған жүйелер мәселелері // Ғылым мен білімнің болашағы. - 2014. - № 6. - С. 31–36.
3. Болодурина И., Парфенов Д. Бағдарламалық жасақтамаға негізделген инфрақұрылым негізінде таратылған бұлтты есептеулерді ұйымдастыру модельдерін жасау және зерттеу // Процедура Информатика. - 2017. – Т. 103. - С. 569-576. DOI: 10.1016 / j.procs.2017.01.01.064.

4. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьев И.В., Цветков В.Я., Куж С.А. Күрделі ұйымдық-техникалық жүйені желілік-центрлік басқару түсінігі. - М.: MaxPress, 2010. - 136 с.

5. Чехарин Е.Е. Үлкен деректер: үлкен мәселелер // Ғылым мен білімнің болашағы. - 2016. – Т. 21. - № 3. - С. 7–11.

**Ж.К. Абдугулова, А.М. Акбаракова**

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

### **Моделирование обеспечения надежности функционирования объектов сетевой инфраструктуры киберфизической системы**

**Аннотация.** В рамках этого исследования была разработана структурная модель архитектуры промышленной кибер-физической системы, использующей облачные вычисления в качестве базовой платформы. Предложенная кибер-физическая система объединяет все элементы на четырех уровнях абстракции на основе многоагентного подхода. Предложенный подход, основанный на интеллектуальной системе анализа данных системы мониторинга, позволяет осуществлять поиск и идентификацию уязвимых элементов инфраструктуры кибер-физической сети на основе облачной платформы. В ходе исследования была разработана модель для обеспечения работы объектов сетевой инфраструктуры, представленная в виде измеренного мультиграфа, который формирует план сбора, анализа и проверки данных из системы мониторинга для обеспечения консолидированной оценки текущего состояния элементов сети. В то же время в качестве верхней части колонки были выбраны параметры для защиты инфраструктуры киберфизической системы и облачной платформы. В качестве дуг приведены взаимосвязи между фиксированными измерениями надежности, которые отражают взаимосвязь между операцией и параметрами подключенных узлов киберфизической системы с учетом текущих параметров столбцов потоков данных. Это позволяет идентифицировать системные сегменты, которые уменьшат накладные расходы, необходимые для внесения изменений. В то же время нейросетевой подход используется для прогнозирования непрерывной инфраструктуры киберфизической системы. Использование предложенного гибридного подхода позволило нам прогнозировать поведение инфраструктуры с течением времени и предупреждать о возможных сбоях в работе отдельных компонентов и критических узлов.

**Ключевые слова:** Киберфизическая система, облачная платформа, нейронная сеть, надежность.

**Zh.K. Abdugulova, A.M. Akbarakova**

*L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

### **Modelization of reliability of functions of the network infrastructures of the cyberphysical systems**

**Abstract:** Within the framework of this research, there has been developed a structural model of an industrial cyberphysical system architecture using cloud computing as a base platform has been developed. The proposed cyber-physical system integrates all elements in four levels of abstraction, based on a multi-agency approach. The proposed approach based on the Intelligent Data Analysis System of the Monitoring System allows searching and identifying vulnerable elements of the cyber-physical network infrastructure based on the cloud platform. The research has developed a model for securing the operation of network infrastructure facilities presented in the form of a measured multigraph, which forms a plan for collecting, analyzing and verifying data from the monitoring system to provide a consolidated assessment of the current state of the network elements. At the same time, the parameters for securing the infrastructure of the cyber-physical system and the cloud platform were selected as the top of the column. As arcs are given the relationships between the fixed dimensions of reliability, which reflect the

relationship between the operation and the parameters of the connected nodes of the cyber-physical system, taking into account the current parameters of the column data streams. This allows us to identify system segments that will reduce the overhead needed to make changes. At the same time, the neural network approach is used to predict the continuous infrastructure of the cyber-physical system. The use of the proposed hybrid approach allowed us to predict the behavior of the infrastructure over time and to warn of possible failures in the operation of individual components and critical nodes.

**Keywords:** Cyber-physical system, cloud platform, neural network, reliability.

## References

1. Xia F., Yang L.T., Wang L., Vinel A. Internet veshchey. Mezhdunarodnyy zhurnal sistem svyazi [Internet of Things. International Journal of Communication Systems], 9(25), 1101 (2012). [in Russian]
2. Tsvetkov V.Ya., Alpatov A.N. Problemy raspredelennykh sistem. Perspektivy nauki i obrazovaniya [Problems of distributed systems. Prospects for science and education], 6, 31–36 (2014). [in Russian]
3. Bolodurina I., Parfenov D. Razrabotka i issledovaniye modeley organizatsii raspredelennykh oblachnykh vychisleniy na osnove programmno-opredelyayemoy infrastruktury. Protsedura Komp'yuternyye nauki [Development and Research of Models of Organization Distributed Cloud Computing Based on the Software-Defined Infrastructure. Procedia Computer Science], 103, 569-576 (2017). [in Russian]
4. Tikhonov A.N., Ivannikov A.D., Soloviev I.V., Tsvetkov V.Ya., Kuj S.A. Kontseptsiya setetsentricheskogo upravleniya slozhnoy organizatsionno-tekhnicheskoy sistemoy [Concept of Network-Centric Management of Difficult Organizational and Technical System] (Moscow: MaxPress, 2010, 136 p.). [in Russian]
5. Chekharin E.E. Bol'shiye dannyye: bol'shiye problemy. Perspektivy nauki i obrazovaniya [Big data: big problems. Prospects for science and education], 3 (21), 7–11 (2016). [in Russian]

### *Сведения об авторах:*

*Абдуғұлова Ж.К.* - экономика ғылымдарының кандидаты, жүйелік талдау және басқару кафедрасының доценті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Акбаракова А.М.* - Жүйелік талдау және басқару кафедрасының оқытушысы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Abdugulova Zh.K.* - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the System Analysis and Management Department, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur - Sultan, Kazakhstan.

*Akbarkova A.M.* - - Lecturer at the Department of the System Analysis and Control Department, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur - Sultan, Kazakhstan.



Бас редакторы: **Г.Т. Мерзалинова**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,  
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің  
Хабаршысы. Техникалық ғылымдар және технологиялар  
сериясы.

- 4(137)/2021 - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. - 98 б.

Шартты б.т. - 6,5. Таралымы - 12 дана.

Басуға қол қойылды: 30.12.2021 ж.

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bultech.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Нұр-Сұлтан қ.,  
Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел.: +7(71-72) 70-95-00(ішкі 31-410)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында  
басылды