



Қазақстан Республикасы
Ұлттық инженерлік академиясының

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии
Республики Казахстан

№ 2 (88)

Алматы
2023

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РК**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Н. М. Темирбеков – академик, заместитель главного редактора; **Е. И. Имангалиев** – ответственный секретарь; академик **Ж. М. Адиллов**, академик **А. Ч. Джомартов**, академик **Р. А. Алшанов**, академик **М. Ж. Битимбаев**, академик **А. В. Болотов**, академик **А. И. Васильев** (Украина), академик **Б. В. Гусев** (Россия), академик **Г. Ж. Жолтаев**, академик **В. Ч. Вуйцик** (Польша), академик **К. К. Кадыржанов**, академик **К. С. Кулажанов**, академик **А. А. Кулибаев**, академик **М. М. Мырзахметов**, академик **Х. Милошевич** (Сербия), академик **Г. А. Медиева**, академик **А. М. Пашаев** (Азербайджан), академик **А. К. Тулешов**, академик **Б. Б. Телтаев**, академик **Ю. И. Шокин** (Россия).

**INTERNATIONAL
SCIENTIFICALLY-TECHNICAL JOURNAL
HERALD TO NATIONAL ENGINEERING ACADEMY
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

B. T. ZHUMAGULOV
Editor-in-Chief, academician

THE EDITORIAL BOARD:

N. M. Temirbekov – academician, Deputy Editor; **Y. I. Imangaliyev** – Managing Editor; **Zh. M. Adilov**, academician; **A. Ch. Dzhomartov**, academician; **R. A. Alshanov**, academician; **M. Zh. Bitimbayev**, academician; **A. V. Bolotov**, academician; **A. I. Vasilyev**, academician (Ukraine); **B. V. Gusev**, academician (Russia); **G. Zh. Zholtayev**, academician; **Wójcik Waldemar** academician (Poland); **K. K. Kadyrzhanov**, academician; **K. S. Kulazhanov**, academician; **A. A. Kulibayev**, academician; **M. M. Myrzakhmetov**, academician; **H. Miloshevich**, academician (Serbiya); **G. A. Mediyeva**, academician; **A. M. Pashayev**, academician (Azerbaijan); **A. K. Tuleshov**, academician; **B. B. Teltayev**, academician; **Yu. I. Shokin**, academician (Russia).

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Республиканское общественное объединение
«Национальная инженерная академия Республики Казахстан».

Издается с 1997 года.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 287 от 14.11.1996 г.,
выдано Национальным агентством по делам печати и массовой информации
Республики Казахстан.

Свидетельство о перерегистрации № 4636-Ж от 22.01.2004 г.,
выдано Министерством информации Республики Казахстан.

Журнал включен Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан
в перечень изданий для публикации основных результатов научно-технических работ соис-
кателей ученых степеней доктора философии PhD и доктора по профилю и ученых званий
доцента и профессора.

Журнал включен в международную англоязычную базу реферативных данных по техниче-
ским наукам INSPEC.

Подписку на журнал можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта»,
ТОО Агентстве «Евразия пресс» и ТОО Агентстве «Еврика пресс».

Подписной индекс:

для физических лиц – **75188**,
для юридических лиц – **25188**.

Подписка продолжается в течение года.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80, к. 415.

Тел. 8-7272-915290, факс: 8-7272-915190,

e-mail: nia_rk@mail.ru, ntpneark@mail.ru, www.neark.kz

FOUNDER:

Republic public association
“National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan”.

Published since 1997 year.

Issued 4 times a year.

Certificate about registration the edition N 287, November, 14, 1996,
was given by National agency on affaires of press and mass information
of the Republic of Kazakhstan.

Certificate about re-registration N 4636-Zh, January, 22, 2004,
was given by Ministry of information of the Republic of Kazakhstan.

The Committee of Science of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan has included the Journal into the list of issues for publication of the main results of scientific-technical investigations of applicants for scientific degrees (Doctor philosophy PhD, Doctor on specialization) and academic ranks (Professor and Associate professor).

The Journal was included into international English-language abstracts database on technical sciences “INSPEC”.

Subscription to journal may be drawn up at post offices of OJSC “Kazpochta”,
in PLL Agency “Evraziya press” and PLL Agency “Evriska press” .

Subscription index:

for natural persons – **75188**,

for juristic persons – **25188**.

Subscription continues during a year.

Address of editorial offices: 050010, Almaty city, Bogenbay Batyr str., 80, off. 415.

Tel. 8-7272-915290, fax: 8-7272-915190,

e-mail: nia_rk@mail.ru, ntpneark@mail.ru, www.neark.kz

**К 70-летию главного редактора журнала
«Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан»,
президента Национальной инженерной академии РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан в области науки,
техники и образования, Заслуженного деятеля Казахстана,
доктора технических наук, профессора,
академика Национальной академии наук Республики Казахстан,
Национальной инженерной академии Республики Казахстан,
Международной инженерной академии**

**ЖУМАГУЛОВА
БАКЫТЖАНА ТУРСЫНОВИЧА**



18 августа 2023 г. – юбилей Бакытжана Турсьновича Жумагулова, главного редактора журнала «Вестник НИА РК», выдающегося ученого, видного государственного, политического и общественного деятеля Казахстана, крупного организатора науки и образования Казахстана, президента Национальной инженерной академии Республики Казахстан, президента Математического общества тюркского мира (TWMS) и Казахстанского математического общества, лауреата Государственной премии Республики Казахстан в области науки, техники и образования, Заслуженного деятеля Казахстана, доктора технических наук, профессора,

академика Национальной академии наук Республики Казахстан, Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Международной инженерной академии, почетного профессора ряда зарубежных университетов, академика академий стран ближнего и дальнего зарубежья, члена международных научно-инженерных сообществ.

Трудовая деятельность выпускника факультета механики и прикладной математики Казахского государственного университета им. С.М. Кирова (ныне Казахского национального университета им. аль-Фараби), профессора Б.Т.Жумагулова связана со служением науке и образованию. Родному университету он посвятил многие годы плодотворной деятельности, пройдя в нем путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой и ректора. В годы учебы в университете на рубеже 1970-1980-х гг. определился круг основных научных интересов Б.Т. Жумагулова, связанных с вопросами математического моделирования и разработки информационных систем. Именно в университете сложился коллектив учеников и единомышленников, вместе с которыми впоследствии Б.Т. Жумагулов получил весомые научные результаты.

Выбранное научное направление получило интенсивное развитие в Инженерной академии Республики Казахстан, где Б.Т. Жумагулов возглавил исследования по математическому моделированию процессов нефтедобычи. Именно им, наряду с общепринятыми моделями Дарси, Маскета-Левретта и тепловой моделью Маскета-Левретта, подробно изучены модели Навье-Стокса и Жуковского, а также ряд новых моделей для оптимизации процессов регулирования и прогнозов нефтедобычи нефтяных месторождений. Создана классификация и выполнен анализ рассмотренных моделей.

Результатом многолетних исследований в этом направлении явилась докторская диссертация на тему «Математические модели фильтрации неоднородной жидкости и их приложение в компьютерных технологиях для нефтяных месторождений», выполненная в Институте гидродинамики Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск) и защищённая Б.Т. Жумагуловым в 1997 году. Научными консультантами являлись академик РАН В.Н. Монахов и профессор Ш.С. Смагулов.

Его диссертация определила новое научное направление его деятельности и положила основу для целого ряда разработок в данной отрасли.

В настоящее время академик Б.Т. Жумагулов – крупный ученый в области вычислительной математики, разработки и применения информационных технологий, математического моделирования и математических методов при решении задач гидродинамики и практических задач нефтегазовой отрасли.

Его талант математика-прикладника ярко проявился в такой сложной проблеме, как математическое моделирование технологических процессов нефтедобычи, создание компьютерной системы автоматизированного анализа разработки нефтяных месторождений. Им заложены основы и создана казахстанская научная школа по вычислительной гидродинамике, математического моделирования технологических процессов разведки, добычи и транспортирования углеводородов, которая сегодня успешно развивается его учениками и последователями, активно сотрудничающие с ведущими профессорами из России, Германии, Китая, США, Франции. Ученые имеют совместные публикации, ведут подготовку молодых ученых на базе международ-

ных научных центров и вузов, активно обогащая научный опыт разных стран. Среди его учеников более 20 кандидатов и докторов наук.

Юбиляр является автором более 400 научных работ и 12 монографий, опубликованных в Казахстане и зарубежных странах, 8 учебников.

Результаты исследований и разработок по теоретическому и численному изучению основных моделей подземной гидродинамики были обобщены в монографии «Гидродинамика нефтедобычи». Этот труд стал настольной книгой специалистов и ученых, занимающихся проблемами подземной гидродинамики не только в Казахстане, но и за рубежом и был переиздан на английском языке по заказу компании AgipКСО в 2003 году в Милане (Италия) «The Fluiddynamicsofoilproduction», а в 2013 г. переиздана на английском языке (Elsevier, Нидерланды).

Профессор Б.Т. Жумагулов – автор научного открытия «Явление низкотемпературной вакуумно-волновой гидроконверсии нефтяного сырья».

Выдающийся ученый и талантливый организатор науки Б.Т. Жумагулов является одним из основателей Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Союза инженеров Казахстана.

Именно в Национальной инженерной академии РКв 90-е годы прошлого века Бакытжан Жумагулов как руководитель, ученый и патриот казахстанской науки внёс большой вклад в реализацию реформ и научно-технической политики страны. Десять лет он возглавлял Межотраслевой научно-технический совет по проблемам развития машиностроения, энергетики, строительства, транспорта и коммуникаций, который был создан в 1993 году по предложению Президента страны, при поддержке Министерства науки и новых технологий и Инженерной академии РК. Деятельность МНТС под его руководством позволила сохранить прикладную науку, помочь ученым, инженерам, научно-исследовательским институтам и конструкторским бюро выжить в трудное время экономических реформ и преобразований в Казахстане.

Под руководством Академии и МНТС в 1993-2000 годы было выполнено 16 республиканских научно-технических программ и более 400 проектов в области машиностроения, энергетики, транспорта и коммуникаций, горнодобывающей промышленности и металлургии, геологии и охраны недр, экологии, легкой и пищевой промышленности, химических и нефтегазовых технологий, информационных технологий, экономики, архитектуры, строительства, технологий строительных материалов.

В апреле 2008 года распоряжением Президента РК Б.Т. Жумагулов был назначен ректором Казахского национального университета имени аль-Фараби. Под его руководством была сформирована и реализована принципиально новая Стратегия развития университета по качественному изменению подготовки специалистов, росту их конкурентоспособности, приближения казахстанского образования к европейским стандартам и интеграции в Болонский процесс. Создана уникальная система электронного университета «Универ» на базе портала университета, которая позволила на качественно новом уровне осуществить переход на новые технологии обучения, обеспечить прозрачность учебного процесса, искоренить субъективные проявления при проведении экзаменов.

В 2010 году был назначен Министром образования и науки Республики Казахстан. Руководил принципиальной модернизацией всей научно-образовательной сферы,

разработкой новой Государственной программы развития образования на 2011-2020 гг., коренным совершенствованием Закона РК «Об образовании», созданием нового Закона РК «О науке», внедрением принципиально новой модели управления и финансирования науки.

В 2017 году Указом Главы государства назначен депутатом Сената Парламента Республики Казахстан.

Бакытжан Турсынович – активный участник международного научного сообщества. Его тесные связи с российскими учеными способствуют развитию научно-технического сотрудничества Казахстана и России. Является первым вице-президентом Международной инженерной академии (штаб-квартира в г. Москве, РФ). В 2011 году избран президентом Федерации инженерных академий Исламских стран (ФЕИС). Президент Казахстанского математического общества (с 2009 г.). Президент Математического общества тюркского мира (с. 2009 г.). С 1999 года является членом Высшей научно-технической комиссии при Правительстве Республики Казахстан.

Свой юбилей Бакытжан Турсынович Жумагулов встречает полным энергии и творческих сил. От всей души желаем юбиляру доброго здоровья, новых больших успехов в его разносторонней научной и организационной деятельности, неутомимого мужества в реализации новых творческих проектов и, конечно, счастья и всех благ!

*Редколлегия журнала
«Вестник НИИА РК»*

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 51-76; 004.11

<https://doi.org/10.47533/2023.1606-146X.1>

**ZH. M. ALIMZHANOVA¹, N. P. AZANOV¹, G. Z. ZIYATBEKOVA^{1,2*},
ZH. N. ABILKHANOVA¹, S. ZH. ZHUNUSBAYEVA¹, B. M. TURGAMBAY¹**

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*²RSE Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK CS,
Almaty, Kazakhstan*

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF RELIABILITY ASSESSMENT OF LINEAR WIRELESS SENSOR NETWORKS

The article is devoted to the issue of estimating the reliability of linear wireless sensor networks. Scientific research in the field of forecasting is given. This article discusses the Internet of Things (IoT) technology, which is growing by 15-20%, actively developing in all directions and its principles of operation. The area with the greatest potential for the application of the Internet of Things in Kazakhstan is smart control of resource consumption, including in the sphere of housing and communal services. Используются методы построения и управления смарт-систем. Also describes the increase in comfort, thanks to IoT technology. User-friendly interface is used. Mainly considered the system of automation of business structures depending on the scale. All currently available methods have been suggested, which are key factors in optimizing all processes. Also considered options for modeling and system development, taking into account all the relevant problems of technology automation. The importance of the scientific topic affects the high potential for the development of IoT technology and the lack of uniform standards for devices included in these systems. The system is scalable, allowing it to be used for almost any purpose. This paper proposes an approach to solving a number of problems arising in the monitoring of long pipelines using wireless sensor networks. In order to take full advantage of the potential of IoT technologies, the architectural basis of which is formed by wireless sensor networks, it is necessary to develop tools to assess and ensure the reliability of these networks. Thus, the focus of the study is on the application-specific formalized reliability criteria for wireless sensor networks.

Key words: *IoT sensors, internet of things technology, wireless sensor network, network evaluation and reliability.*

Introduction. Internet of Things (IoT) technologies are in the focus of not only leading commercial companies, research centers, but also the governments of many countries. IoT-sensors can already effectively analyze water, heat, electricity, gas consumption, monitor emergency situations in real time, remotely control a huge number of city functions - from streetlights

* E-mail корреспондирующего автора: ziyatbekova@mail.ru

and skylights to security cameras with face recognition function. With the development of IoT, ensuring the safety and comfort of urban residents is becoming much easier. It is safe to say that the digitalization of urban services and infrastructure is of strategic importance for the development of a civilized society. Many IoT architecture solutions are based on the results of wireless sensor network research, in particular the proposals within the Internet of Things-Architecture (IoT-A) project of the European Union's 7th Framework Programme for the Development of Research and Technology [1-2]. Vital infrastructure monitoring systems based on wireless sensor networks (WSNs) are one of the most popular IoT technologies, since proper monitoring will reduce damage from natural and man-made disasters, timely respond to the consequences of infrastructure deterioration, reduce environmental and economic risks.

Corporations and government agencies, especially in the U.S., Europe and the Middle East, are currently making major efforts to research, develop and patent wireless sensor network-based technologies for monitoring long pipelines of various applications. Specifically, research on the use of WSNs for pipeline monitoring was conducted as part of joint research projects between Stanford University, the University of Southern California, and Chevron Corporation. The competition for pipeline monitoring solutions was run by a U.S. federal government agency (Bureau of Reclamation) on the crowdsourcing platform Innocentive. According to a GlobeNewswire analysis report, even for a private task such as monitoring water pipes for leak detection, the solution market reaches a billion dollars and is growing at 5% per year. WSNs can continuously monitor critical infrastructure, detect and report any anomalies, but there are a number of challenges to overcome, such as node placement, energy optimization, efficient data flow, etc., which require reliability and life-time assessment techniques for WSNs.

It should be noted that experts in the field of information put forward reasonable doubts about the reliability of IoT technologies, in general, and the ultimate benefit to society from their implementation. It is noted that companies specializing in IoT technologies, seeking to occupy as much of the market as possible and prioritize the earliest release of products, without paying enough attention to issues of reliability and safety. In order to fully exploit the potential of IoT technologies, it is necessary to develop appropriate tools to assess and ensure their reliability. Particularly applicable to pipeline monitoring systems using WSNs, since these networks may operate in harsh climatic conditions and network nodes may be located in places that are not readily accessible for routine inspections. The main role of sensor nodes in WSNs used for monitoring is to periodically collect and transmit data to an intelligent central base station (sink), where the collected data is processed to detect a variety of anomalous events. In large-scale WSNs used to monitor long sites, such as pipelines, most sensor nodes are geographically remote from the base station and are usually equipped with relatively low-capacity, low-cost self-contained batteries. This fact largely determines the main disadvantages of long-haul WSNs, since the periodic transmission of raw data over long distances through several transitions to the base station leads to a rapid drain on the battery of sensor nodes and reduces the service life of the network. Other disadvantages include low reliability of wireless channels, high cost of bandwidth, low level of data security [3-4]. Thus, there is a need to solve the optimization problems of extended WSNs, where the target function or constraints include the reliability indicator.

Experimental. A typical scenario used in a number of recent publications on the subject is discussed [6-8]. A WSNs consists of several (n) sensor nodes placed on the surface of the pipe, the topology is a simple chain at the end of which is a base station. Sensors are responsible for collecting data, periodically sending packets to the base station. All nodes play an important role in data forwarding, the node closest to the base station transmits data to the stock directly, intermediate nodes are used to transmit packets from other nodes, i.e., the data sent by the sender to the stock is retransmitted by nodes located between the sender and the stock. The main power consumption is caused by transmitting traffic. Obviously, this leads to excessive waste of energy of sensor nodes located closer to the base station because of the high asymmetric load on these nodes. Each sensor node performs periodic monitoring within its sensitivity range. All sensor nodes are initially in the same environment, have similar communication capabilities, power consumption, and their behavior is described by the same conceptual models. Each node transmits its packet to its neighbor node in the direction of the base station. Distances between neighboring nodes differ slightly. The appropriate software module deployed in the base station receives data from all sensor nodes, decides whether or not there is a problem on its own, or transmits the data via a highly reliable IP network to a decision-making center.

Results and Discussion. The load generated by the sensor node will be modeled by a Poisson process, which is also not only a commonly used assumption, but has also been repeatedly verified experimentally. We denote the intensity of the flow given from sensor j by A_j . For homogeneous nodes: $A_j = A \quad \forall j = 1 \dots n$. The current node battery capacity (C) is conveniently measured in the number of potentially possible packet transmissions. Thus, the lifetime of a node is modeled by a Markov chain with continuous time:

$$C(t), t > 0.$$

Initial battery capacity is sufficient to transmit C_0 packets. Let us introduce the probabilities of states,

$$P_k(f) < P[C(f) < k], \quad k = 0, 1 \dots C_0.$$

Then the Kolmogorov equations for this system:

$$\frac{dC_k(t)}{dt} = -\lambda C_k(t) + \lambda C_{k+1}(t), \quad 0 < k < C_0,$$

$$\frac{dC_{C_0}(t)}{dt} = -\lambda P_{C_0}(t),$$

$$P_k(0) = \begin{cases} 1, & k = C_0 \\ 0, & k < C_0 \end{cases}$$

The normalization condition must also be met:

$$\sum_k P_k(t) = 1.$$

This process is a variation of the process of death and reproduction, contains an absorptive state, transitions from state to state are possible only in the direction of population decrease. The solution of the system of Kolmogorov equations in this case takes the form:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^{C_0-k}}{(C_0-k)!} e^{-\lambda t}, \quad 0 < k < C_0.$$

Hence,

$$P_k(t) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{k=0}^{C_0-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!}.$$

The obtained function describes the probability that the sensor battery will be discharged by time t , i.e. $P_0(t)$ allows to calculate the sensor lifetime and formalize various criteria of network reliability.

Using the results of the previous section for the sensor with energy reserve C we obtain the average lifetime of the sensor: $C/2$; Taking into account the properties of the Poisson process we obtain that for a homogeneous WSNs the average lifetime of the sensors (from the far sensor to the near sensor to the drain) will be:

$$\frac{C}{\lambda}, \frac{C}{2\lambda}, \dots, \frac{C}{n\lambda},$$

because the intermediate sensor needs to transmit packets of all sensors that are further away from the rack. The network will become unconnected for a time n times shorter than the lifetime of the far node. To balance the lifetime of the nodes it is necessary to abandon the use of nodes that are homogeneous in energy reserve, i.e. for a node that is separated from the drain by j hops the battery capacity should be: $(n-j+1)C$.

Also, based on the criterion of average node lifetime, it can be concluded that the approach to optimization and balancing of power consumption of linear WSNs proposed in the article [5], according to which nodes are divided into clusters of 3 nodes, one of the nodes aggregates traffic and forwards it to a symmetric node in the next cluster. If the middle node is taken as the cluster head, indeed, the average lifetime of the other two nodes in the cluster will be $\frac{C}{\lambda}$. However, the head node must transmit data over a distance increased threefold. Taking into account the fact that the growth of power consumption for data transmission increases in proportion to the square of the distance, the capacity of this node will no longer be C , but $\frac{C}{9}$, respectively, the average lifetime of the head node without regard to retransmission of cross-traffic will decrease to $\frac{C}{27\lambda}$.

Even if we take total energy cost as a criterion rather than reliability in some way, the clustering from [5] is still of limited use. Let e_1 be the energy cost of transmitting a packet at 1-hop distance, and e_2 be the energy cost of transmitting a packet between cluster head nodes, and

$$e_2 = ae_1, \quad a < 1.$$

Then we get the following condition of benefit of the considered method of clustering:

$$a < \frac{7}{3} - \frac{6}{n+3}.$$

As noted above, in many applications $a \leq 9$, i.e., degradation of signal-to-noise ratio is inevitable.

The formula $P_0(f)$ can be applied to formalize other reliability criteria, for example, the probability of failure-free operation during the prescribed time. Also, using sub-models for λ and C , one can evaluate different approaches to traffic aggregation [9-11].

Conclusions. An approach to the formalization of the reliability criterion of extended wireless sensor networks is proposed. It is shown that homogeneous wireless sensor networks are structurally imbalanced in the energy consumption of nodes. The recently proposed approach to energy conservation of linear wireless sensor networks using clustering [5], generally speaking, is not tenable and entails degradation of network reliability. To ensure the required level of reliability of linear wireless sensor networks, it seems promising to use base stations on an unmanned aerial vehicle, and it is predicted that the total system energy costs will increase. Also, good prospects are seen in the application of traffic aggregation schemes using noise coding.

REFERENCES

- 1 Uckelmann, D., Harrison, M., Michahelles, F. Architecting the Internet of Things; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2011. (in Eng)
- 2 Quintana-Suarez, M., Sanchez-Rodriguez, D., I. Alonso-Gonzalez, and J. Alonso-Hernandez. A Low Cost Wireless Acoustic Sensor for Ambient Assisted Living Systems. – Applied Sciences, 2017. – Vol. 7. – No. 9. – 877 p. (in Eng)
- 3 Nkemeni, V., Mieveville, F. and Tsafack, P. A Distributed Computing Solution Based on Distributed Kalman Filter for Leak Detection in WSN-Based Water Pipeline Monitoring. Sensors, 2020. – Vol. 20. – No. 18. – 5204 p. (in Eng)
- 4 Ali S. et al. SimpliMote: A Wireless Sensor Network Monitoring Platform for Oil and Gas Pipelines. In IEEE Systems Journal, 2018. – Vol. 12. – No. 1. – Pp. 778-789. (in Eng)
- 5 Albaseer A. and Baroudi, U. Cluster-Based Node Placement Approach for Linear Pipeline Monitoring. In IEEE Access, 2019. – Vol. 7. – Pp. 92388-92397. (in Eng)
- 6 Tong, F., He S. and Pan, J. Modeling and Analysis for Data Collection in Duty-Cycled Linear Sensor Networks With Pipelined-Forwarding Feature. In IEEE Internet of Things Journal, 2019. – Vol. 6. – No. 6. – Pp. 9489-9502. (in Eng)
- 7 Shakhov V.V., Yurgenson A.N. (2021) Towards Edge Computing Based Monitoring for Smart Ports. Springer Lecture Notes in Computer Science, 2021. – Vol. 12. – 956 p. (in Russ)
- 8 Marco Schwartz. The Internet of Things with ESP8266. - BHV, 2016. – 191 p. (in Russ)
- 9 Perry Lee. The Architecture of the Internet of Things. – DMK Press, 2018. – 456 p. (in Russ)
- 10 Maciej Krantz. The Internet of Things the New Technological Revolution. – Exmo, 2017. – 330 p. (in Russ)
- 11 Lichtzinder. B.Y. Wireless sensor networks. Textbook for universities. – St. Petersburg State University of Technology, 2020. – 236 p. (in Russ)

**Ж. М. АЛИМЖАНОВА¹, Н. П. АЗАНОВ¹, Г. З. ЗИЯТБЕКОВА^{1,2},
Ж. Н. АБИЛХАНОВА¹, С. Ж. ЖУНУСБАЕВА¹, Б. М. ТУРГАМБАЙ¹**

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан

СЫЗЫҚТЫ СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІҢ СЕНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУДЫ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Мақала сызықты сымсыз сенсорлық желілердің сенімділігін бағалау мәселесіне арналған. Мұнда болжау саласындағы ғылыми зерттеулер келтірілген. Бұл мақалада заттардың интернеті (IoT) технологиясы қарастырылады, оның жұмыс принциптері де барлық бағыттарда белсенді дамиды әрі ол 15-20%-ға дейін өсе алады. Қазақстанда заттар интернетін қолданудың ең үлкен әлеуеті бар сала тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық саласында қолданылатын ресурстарды тұтынуды мұқият бақылау болып табылады. Ғылыми жұмыста smart жүйелерді құру және басқару әдістері қолданылды. IoT технологиясының арқасында жайлылықтың артуы да сипатталған. Пайдаланушыға ыңғайлы интерфейс қолданылды. Негізінен масштабқа байланысты бизнес-құрылымдарды автоматтандыру жүйесі қарастырылады. Қазіргі уақытта барлық процестерді оңтайландырудың негізгі факторлары болып табылатын барлық қол жетімді әдістер ұсынылды. Технологиялық процестерді автоматтандырудың барлық өзекті мәселелерін ескере отырып, жүйені модельдеу және әзірлеу нұсқалары да қарастырылады. Ғылыми тақырыптың маңыздылығы IoT технологиясының жоғары даму әлеуетіне және осы жүйелерге енгізілген құрылғылардың бірыңғай стандарттарының болмауына әсер етеді. Жалпы жүйе масштабталады, бұл оны кез-келген мақсатта пайдалануға мүмкіндік береді. Жұмыста сымсыз сенсорлық желілерді қолдана отырып, кеңейтілген құбырларды бақылау кезінде туындайтын бірқатар мәселелерді шешуге оң көзқарас ұсынылады. Архитектуралық негізін сымсыз сенсорлық желілер қалыптастыратын Заттар интернеті технологияларының әлеуетін толық пайдалану үшін аталған желілердің сенімділігін бағалау және қамтамасыз ету құралдарын әзірлеу қажет. Осылайша зерттеудің фокусы қолданбаның ерекшелігін ескере отырып рәсімделген сымсыз сенсорлық желілердің сенімділік критерийлері болып табылады.

Түйін сөздер: IoT сенсорлары, интернет заттары технологиясы, сымсыз сенсорлық желі, желіні бағалау және сенімділік.

**Ж. М. АЛИМЖАНОВА¹, Н. П. АЗАНОВ¹, Г. З. ЗИЯТБЕКОВА^{1,2},
Ж. Н. АБИЛХАНОВА¹, С. Ж. ЖУНУСБАЕВА¹, Б. М. ТУРГАМБАЙ¹**

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК,
Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Статья посвящена вопросу оценки надёжности линейных беспроводных сенсорных сетей. Приведены научные исследования в области прогнозирования. В данной статье рассматривается технология Интернета вещей (IoT), которая растёт на 15-20%, активно развиваясь во всех направлениях и её принципы работы. Сферой с наибольшим потенциалом применения Интернета ве-

цей в Казахстане является умный контроль потребления ресурсов, применяемый в том числе и в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Используются методы построения и управления смарт-систем. Также описывается повышение комфортности, благодаря технологии IoT. Использован удобный интерфейс для пользователя. Главным образом рассматривается система автоматизации бизнес-структур в зависимости от масштаба. Были предложены все доступные методы на данный момент, которые являются ключевыми факторами в оптимизации всех процессов. Также рассмотрены варианты моделирования и разработки системы, учитывая все актуальные проблемы автоматизации технологии. Важность научной темы влияет на высокий потенциал развития технологии IoT и на отсутствие единых стандартов устройств, включенных в эти системы. Система является масштабируемой, что позволяет использовать её практически для любых целей. В работе предлагается подход к решению ряда задач, возникающих при мониторинге протяженных трубопроводов с использованием беспроводных сенсорных сетей. Для того чтобы в полной мере воспользоваться потенциалом технологий Интернета вещей, архитектурную основу которого формируют беспроводные сенсорные сети, необходимо разработать средства оценки и обеспечения надежности указанных сетей. Таким образом, в фокусе исследования находятся формализованные с учетом специфики приложения критерии надежности беспроводных сенсорных сетей.

Ключевые слова: IoT-датчики, технология Интернета вещей, беспроводная сенсорная сеть, оценка и надежность сети.

**Y. N. AMIRGALIYEV^{1,2}, S. B. MUKHANOV^{1*}, D. B. ZHEXENOV¹,
N. K. KALZHIGITOV¹, A. S. LI¹, D. D. YEVDOKIMOV¹, C. KENSHIMOV²**

¹International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Information and Computer Technologies, Almaty, Kazakhstan

A COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK MODELS FOR HAND GESTURE RECOGNITION METHODS

In recent years, gesture recognition methods have undergone major changes. Because the very demand for it has reached a different level. Humans have increasingly begun using various areas of human activity. The purpose of gesture recognition is to record gestures formed in a certain way and then tracked by a device such as a camera. Hand gestures can be used as a form of communication within many different applications. It can be used by people with various disabilities, including those with hearing and speech impairments, to communicate and interact socially with others. Our research demonstrates various methods for implementing hand gesture recognition based on Hidden Markov Model (HMM), Convolutional Neural Network (CNN), Diffractive Deep Neural Network (D²NN) and other neural networks. This research reviews previous approaches and results of hand gesture recognition methods, hypotheses, diagrams, as well as a comparative review between various gesture recognition methods are given in this paper.

Key words: Hand gesture recognition, gesture recognition video-chat, neural networks, dynamic gestures.

Introduction. Nowadays in Kazakhstan there are more than 200 thousand mute people, 80 thousand deaf people, and in the world more than 430 million people suffer from hearing loss, and the number of mute people exceeds more than 70 million [1]. For many of them, this is a problem they face every day. Many of these people suffer in terms of communication and are often forced to use the services of an interpreter for normal communication. And the solution to this problem is too expensive for many. The average price of a hearing aid is 300,000 tenge and more, not to mention how often they must be changed. This problem covers a huge contingent of people, so we decided to take on the solution to this problem. We thought of different ways to help the deaf and mute people. The key problem for mute and deaf people was communicating with ordinary people and being unable to support or understand them.

We have considered different solutions to this problem:

1. Online site for learning sign language
2. Gesture recognition and translation
3. Platform for finding people as sign language interpreters
4. Video chat with gesture recognition

After much deliberation, our choice fell on the fourth option. Since quite a few people today use chat roulette for fun, we decided to use a fun learning method. We plan to embed gesture recognition into online chat, where the user will be able to communicate with mute or deaf people. Thus, users can learn sign language in a playful and conversational way. In

* E-mail корреспондирующего автора: kvant.sam@gmail.com

addition, it is also useful for - most mute or deaf people, they will be able to learn various sign languages such as Kazakh, world and Russian and even those who do not know sign language themselves.

Goal: Development of a convenient platform for real-time hand gesture recognition.

Hypothesis:

1. The topic of research is the recognition of sign language or dactyl alphabet based on the training of neural networks.
2. Analysis of analogues and recognition systems in different sign languages.
3. Selection and training of various neural network architecture models, as well as a comparative analysis of gesture recognition methods.
4. Designing an application for sign language recognition.

An Overview of Gesture Capture and Recognition Techniques And Methods. In our research, the Python pipeline library was used directly to capture hand gestures. The remaining methods, and the methodology of further work itself, were used based on the works of other authors. Because a lot of work has been done on gesture recognition. Maria Abastillas in Real Time Hand Gesture Recognition and Classification Technique (June 17, 2011) this work is discussed, a way to recognize and classify hand movements performed by healthy subjects in real time. In addition, the analysis of the choice of the simplest features and the best classifier for the indicated hand movements is discussed. 2 hand movement modes: relaxed hand and closing hand are classified on the Lab View platform. The classifier model was trained using 75% of the data as the training set and the remaining 25% as model test/validation data. The results show that the proposed model is an efficient and accurate method for classifying hand movements with approximately 96.58% accuracy for offline classification. The classified model was also implemented in the LabView software by pairing it with Python. Thomas Bravenek, Thomas Friza in “Multiplatform Hand Gesture Recognition System” (2019). This article collects available gestures and finger detection in still images and video snapshots. The document also contains a quick test of various approaches to convenient gesture detection, including because the platform implementation is an application written in Python using the OpenCV and PyTorch libraries that will display a specific image or play a video sequence with highlighted recognized gestures.

Google company’s project GoogleAI shows an approach to accurate and effective hand and finger tracking using machine learning on the MediaPipe cross-platform framework, which in turn builds data processing pipelines (video, audio, and time series) [2]. The authors use models such as a palm detector (blazePalm), a model for determining key points on the hand, and a gesture recognition algorithm. These models form a single basis of the above structure. Every model is unique and defines the key points for identifying special elements in gesture recognition.

The authors of the Russian Sign Language Dactyl Recognition article compared several real-time sign language recognition systems and presented a new model based on deep convolutional neural networks. These systems are capable of recognizing letters of the Russian alphabet represented as static characters in Russian Sign Language used by people

from the deaf community. In this approach, they recognize Russian natural language words represented by successive gestures of each letter. The authors evaluate their approach to Russian Sign Language (RSL), for which they collected their own dataset and evaluated dactyl recognition [3].

A. Dhawan et al [5] focus on only one camera as an input source, while H.S. Yeo et al [4] compare image recognition results with a single camera and a depth camera. In H.S. Yeo et al [4] have proven that a user can interact with a computer without using any physical controllers. Another discovery of H.S. Yeo et al [4], the single camera performs poorly in low light conditions. To solve this problem, there is a wide range of - YCbCr thresholds. be used. However, this limitation does not occur when using the Kinect Depth Camera due to its robustness to preserve the contours of the hand by applying a fixed depth threshold. Table 1 summarizes of some hand gesture recognition systems: a comparison of methods in which hand gesture recognition methods are used.

Table 1 – Results of Hand Gesture Recognition Systems Using Different Types of Cameras.

Research	Method	Detection	Feature Extraction	Recognition (%)
M.M. Hassan, P.K. Mishra	Vision-based using single camera	HSV color Threshold method	Classical normalization: Divide the hand image into blocks of intensity features, which is then being extract by using edge information technique	Classical normalization 91%
M.M. Hassan & P.K. Mishra	Vision-based using single camera	HSV color Threshold method	Comparison between classical normalization technique and block scaling using center of mass normalization technique	Classical normalization 83.3%
				Block scaling normalization using center of mass 96.6%
Ginus Thomas	Vision-based using single camera	RGB color Otsu threshold method	Image captured are being tested in few methods: a) Pixel by pixel comparison b) Edges method	Pixel by pixel method 86%,
				Edges method 92%
				Orientation

Based on the table above, we can conclude that applying different image processing techniques, the results of recognition success will be different, according to this the best option can be chosen for your system.

Table illustrates number of researchers, recognition methods of a system that used other tracking devices such as gloves, detection, feature extraction and percentage of recognition.

Table 2 – Summary of Hand Gesture Recognition Systems Using Tracking Devices.

Research	Method	Detection	Feature Extraction	Recognition (%)
Y. Yao, Y. Fu	14-patches color glove	RGB-D using Kinect sensor	Database indexing technique is used by collecting training samples. Similarity between training samples and gesture are tested	51.87%
J. Nagi, A. Giusti, L. Gambardella, G.A.Caro	Colored Glove	HSV color space	Support Vector Machine (SVM) is trained in a cascaded multi-binary-class configuration, where the spatial gestures are effectively learned and recognized by a swarm of UAVs.	Spatial gesture recognition is robust and scales well with swarm sizes of up to 20 robots
Kılıboz, Nurettin Çağrı Güdükbay, Uğur	Six-degree-of-freedom (DOF) Magnetic motion tracking device	Collected motion data is converted into relative position data in gradient form (x-y axis)	Finite State Machine (FSM) is used as a gesture recognizer method. Needleman-Wunsch sequence matching algorithm is applied in order to produce similarity scores between two sequences.	Recognition rate: 73%. The outcome can be improved by using a more powerful tracking approach which has better sensor capability

Convolutional neural network, hidden markov model and diffractive deep neural network architectures. Based on the data of these tables and to obtain our own results, we have studied some models and types of Neural Network (NN). So, Convolutional Neural Network (CNN) is a neural network consisting of several layers that perform convolutional calculations based on mathematical algorithms. The CNN consists of convolutional layers, pooling layers, and fully connected layers. These layers create feature maps, after which they use special operations and rules to reduce the sample size of these features step by step. Further, information about the objects remaining after the previous operations is collected in the layers of the union. The CNN has good learning abilities, qualitatively extracting convolutional features and classifying related layers [6].

Benefits of Using CNN for Deep Learning:

- For image recognition applications, CNNs are especially useful as they provide highly accurate results, especially when a large amount of input data is used. Such training removes the need for self-extraction of features.
- CNN can be retrained for completely different recognition goals and built based on existing networks. Thanks to this, you can use this type of network, and it will not be very resource intensive.
- CNNs are more computationally efficient than regular neural networks because they share parameters. These models are easy to deploy and able to run on any device.

The Hidden Markov Model (HMM) is a model in which the system being modeled is treated as a Markov process with hidden states. The HMM gives us the ability to consider

observable and hidden events that are contained in our model. One of the main applications of this model is gesture recognition.

Benefits of HMM model:

- HMM has a strong statistical foundation and efficient learning algorithms where learning can be done from the raw sequence data.
- It provides the ability to sequentially handle insertion and deletion penalties as locally trained methods and can handle variable length inputs.
- It can also perform a large number of operations, including multiple alignment, data analysis and classification, structural analysis, and pattern detection.
- It is also easy to combine this model into libraries.

An Optical Neural Network (ONN) is a physical implementation of an artificial neural network with optical components.

In the ONN architecture, the neural network is physically formed by multiple diffractive surfaces working together to perform an arbitrary function. The ONN takes characteristics of input information with amplitude, phase and light intensity based on optical modulation. Although the inference and prediction of a physical network is entirely optical, the part of the training that determines its design can be performed by computers.

Meanwhile, different The ONN models have emerged, among them, Diffractive Deep Neural Network (D²NN), based on the all-optical structure of machine learning, provides an extremely high degree of freedom for model training, and facilitates important applications in a wide range of fields.

The Diffractive Deep Neural Network (D²NN) has demonstrated its importance in performing various all-optical machine learning tasks, such as classification, segmentation, etc, the operation algorithm of this network is shown in Figure 1.

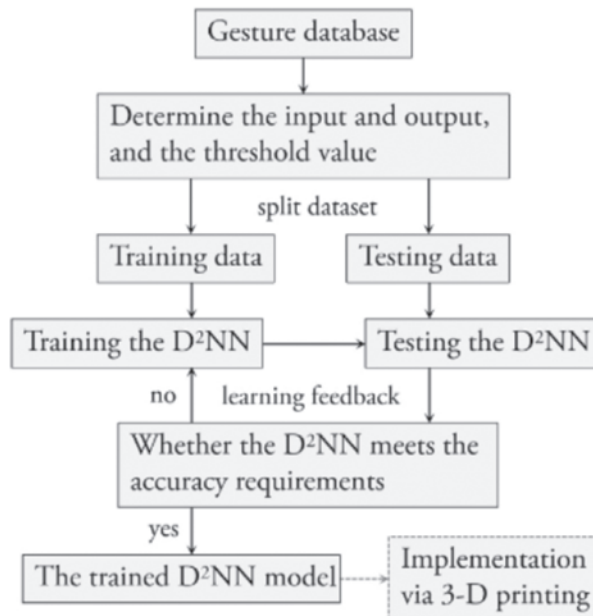


Figure 1 – Flow chart of the algorithm for the proposed D2 NN model

In D²NN framework, each neuron has a complex transmission coefficient, i.e.,

$$t_i^l(x_p, y_p, z_p) = a_i^l(x_p, y_p, z_p) \exp(j\phi_i^l(x_p, y_p, z_p)), \tag{1}$$

where i and l denote the neuron and diffractive layer number, respectively. a_i^l and ϕ_i^l are represented during the network training as functions of two latent variables, α and β , defined in the following form:

$$a_i^l = \text{sigmoid}(\alpha_i^l), \tag{2}$$

$$\phi_i^l = 2\pi \times \text{sigmoid}(\beta_i^l), \tag{3}$$

where, $\text{sigmoid}(x) = \frac{e^x}{e^x + 1}$, is a non-linear, differentiable function. In fact, the trainable parameters of a D²NN are these latent variables, α_i^l and β_i^l , and eq. (1) defines how they are related to the physical parameters (a_i^l and ϕ_i^l) of a diffractive optical network. When we combine D²NN training related changes reported in the earlier sub-section on the parametrization of neuron modulation (eq. (2)), with the cross-entropy loss outlined above, a significant improvement in the classification performance of an all-optical diffractive neural network is achieved [7, 8].

Authors in the research [9] used real-time tracking and hidden Markov models to track the moving hand and extract the region of the hand. They then used the Fourier descriptor to characterize the spatial features.

A scheme for extracting and classifying 2D motion in an image sequence based on motion trajectories was presented by the authors in the paper [10]. They used multi-scale segmentation, affine transformations, and a time-delayed neural network to show that hand gesture motion patterns can be extracted and accurately recognized using motion trajectories.

The authors [11] presented an algorithm for extracting and classifying 2D motion in an image sequence based on a motion trajectory. First, multi-scale segmentation is performed to create homogeneous regions in each frame. Regions between, then consecutive frames are matched to obtain two kinds of matches. Affine transforms are computed for each pair of matching regions to determine pixel matches. The pixel hits in successive pairs of images are combined to obtain the pixel level of the motion path through the sequence of images. Motion patterns are learned from the extracted trajectories using a neural network with a time delay. They applied the proposed method to recognize 40 American Sign Language hand gestures. Experimental results show that hand gesture motion patterns can be extracted and accurately recognized using motion trajectories.

The authors used the glove in [12] to create a hand-machine interface. The glove is supposed to be equipped with sophisticated sensors capable of detecting bending movements, measuring finger flexion, etc. The position and orientation of the hand are measured either by ultrasound, which provides five degrees of freedom, or by magnetic flux sensors, which provide six degrees of freedom. Thus, the glove owner will have an interface to the visual programming language.

In research [13] the authors proposed a two-level approach to solving the problem of classifying hand gestures based on real-time vision. The bottom layer of the approach implements pose recognition with Haar-like features and the AdaBoost learning algorithm. The top layer implements linguistic hand gesture recognition using grammar-based context-free parsing. Given an input gesture based on the extracted poses, composite gestures can be parsed and recognized using a set of primitives and production rules.

Paul S. Heckbert has presented a seed-fill algorithm in the paper [14]. Authors in the research [15] have presented a modified new seed-fill algorithm. Authors of this research proposes a two-level approach to solving Hand gesture classification problems based on real-time vision The lower level of the approach implements posture recognition with Haar-like features and the AdaBoost learning algorithm. With this algorithm, real-time performance, and high recognition accuracy it might work. The top level implements linguistic hand gesture recognition using a context-free syntax based on grammar parsing. Given an input gesture based on the extracted poses, composite gestures can be parsed and recognized using a set of primitives and production rules [14].

Authors proposed various methodologies for detecting and finding out whether pixels are aligned in a straight line or not [16, 17, 18]. Our method uses a very cheap device that includes LEDs and a glove to implement a hand gesture recognition library. These gestures can be used to simulate various mouse operations. The methods used are simple, efficient and easy to implement as they do not require too many complicated operations.

Results. Based on the research of other authors and the literature review, as well as through our experiments, we have determined the approximate architecture of our application. For clarity, various types of UML diagrams were created, they are shown below. These schemes do not describe the methods and ways of recognition of gestures, they describe the main functions, components, and principles of interaction of these components with each other. Those, in the future, regardless of the chosen method of working with gestures, according to these schemes, it will be possible to create a fully functioning application.

Figure 2 shows the class diagram of our video-chat application with gesture recognition. It describes the main classes and the types of relationships between them, as well as the methods that these classes implement.

So, we have defined our main class - User. The user can have different roles, be it a regular user, an admin, or a moderator. He directly sets all the chat settings himself, selects the type of chat, and other functions appear depending on the type he has chosen, such as random or closed chat.

Figure 3 is a deployment diagram that describes the system execution architecture, including nodes and the interfaces that link them.

In our case, there are 4 blocks:

1. User interface
 - Renders to the user all information, and interaction tools.
2. Main server
 - Processes the data sent by the user and sends the results of queries back to the user and receives data from the database and ML servers for further processing.
3. Database server
 - Stores all the necessary information, such as user data and gesture datasets.

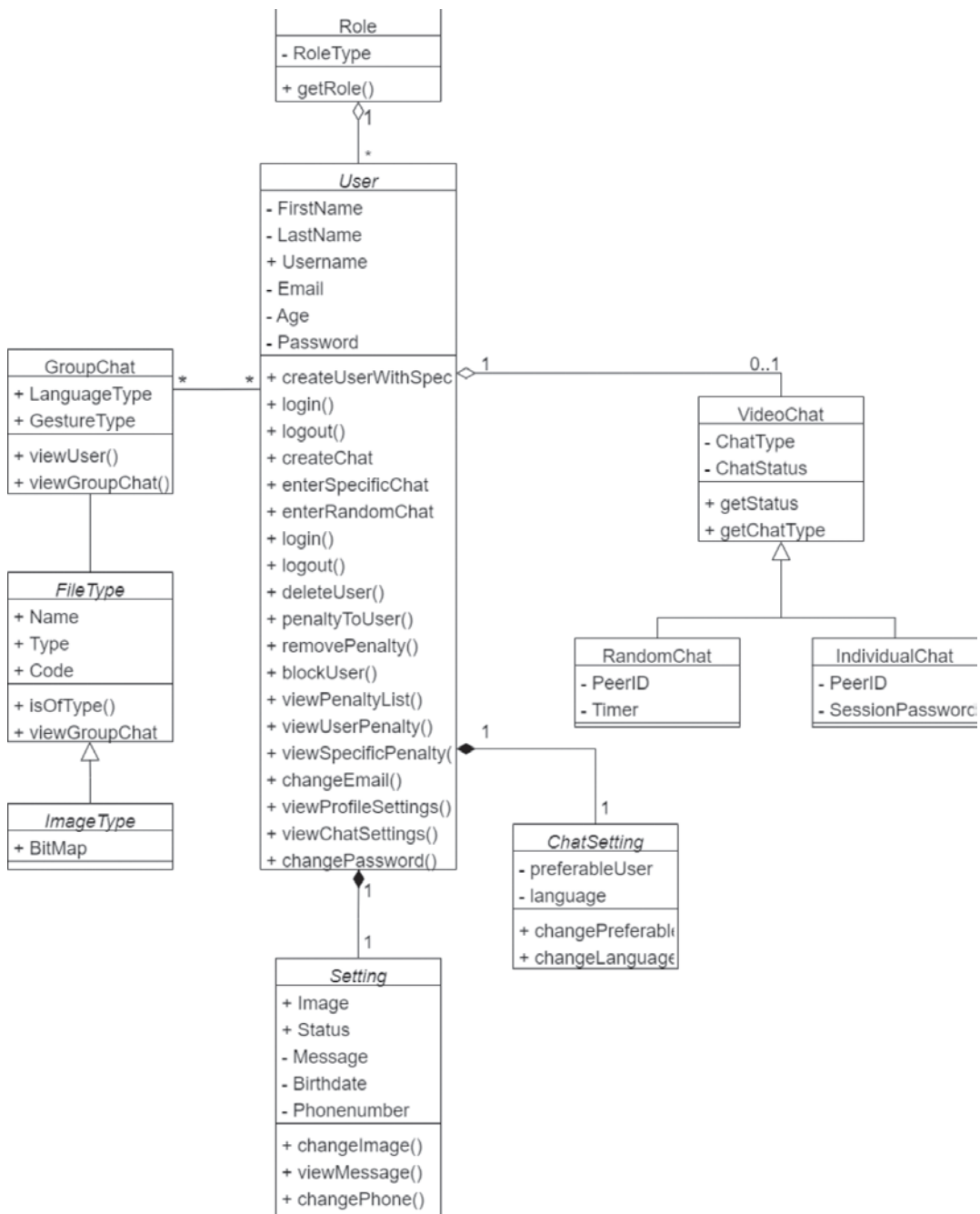


Figure 2 – UML class diagram

4. ML server

– Dynamically processes data from the webcam, translating gestures from images into the selected language

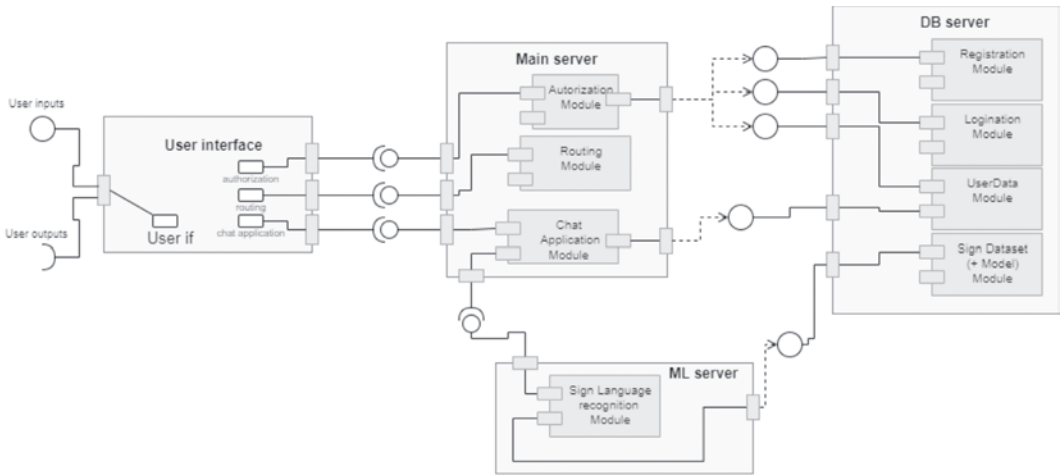


Figure 3 – Deployment architecture

This diagram illustrates software development application for gesture recognition of sign language. This picture describes solution architecture and logical structure of frontend and backend side interaction.

In addition to describing the architecture, we also conducted test experiments on the recognition of the Kazakh sign language, using the dataset collected for the paper [19]. To implement this experiment, we used the YOLOV5 model.

The YOLO (You Only Look Once) model works based on KNN, used for high performance object detection. The model divides the target image into a system of grids, and these, in turn, detect objects within themselves. They are used for real-time object detection based on so-called data streams. They do not require a lot of computing resources.

After that, the trained model was tested on the same images. Figure 5 shows examples of gesture recognition results from an image from the dataset.

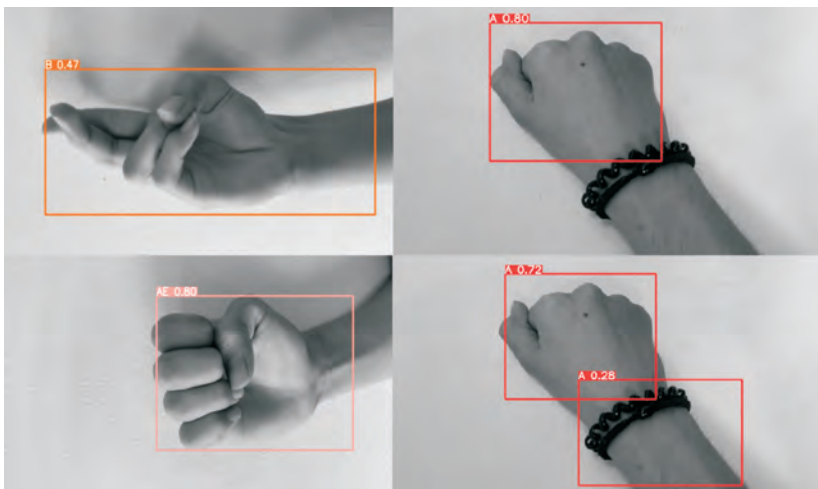


Figure 4 – The result of gesture recognition by the YOLO model

The numbers above the border of the object's rectangle indicate the probability of the correctness of the prediction made by the gesture, and the letters next to it are the symbols themselves that these gestures represent.

As you can see from Figure 5, in general the model did a good job but in the fourth image, an erroneous choice was made with a low probability, most likely this was due to the small amount of data on which the model was trained. The solution to the problem is simple - we need to expand the database of gesture images to train the model.

After that, tests of the model with a webcam were also carried out, which showed a certain result, but due to the inadequate quality of the camera, it was decided to repeat this experiment on an already better trained model, and with better equipment.

Conclusion. This overview paper discusses various methods of gesture recognition, including neural network, HMM, CNN, etc. For dynamic gestures, HMM tools are excellent and have proven their effectiveness, especially for robot control. CNNs are used as a classifier and to capture the shape of the hand. Some techniques and algorithms are required for feature extraction, even for capturing the shape of a hand, as in a 2D Gaussian function to match the segmented hand, which was used to minimize the effect of rotation. The choice of a specific recognition algorithm depends on the required application. This article presents the areas of application of the gesture system. An explanation of the problems of gesture recognition is also given, a detailed discussion of the latest recognition systems. Some selected systems are also listed.

We noticed that Convolutional neural network will be effective in recognizing the Kazakh sign language, an example of the work of CNN and a learning model based on the Kazakh language dataset. HMM also having its advantages in the form of a high speed of the algorithm, as well as the presence of many studies by other authors, is a good option to consider. And D²NN, due to its novelty, has great advantages in the form of the ability to give a good percentage of accuracy with relatively small volumes of the dataset used, as well as the ability to recognize even very low-quality images. In connection with the above, the choice of our main model for the project fell on D²NN, so its advantages seemed to us more significant.

Also, based on the experiment with the YOLO model, we concluded that the Kazakh language dataset we have can be used as a training for our models, with the prospect of expanding it in the future.

In future work, we plan to create our own workable application based on the research and materials studied, capable of recognizing several different sign languages, including Kazakh, as well as able to recognize gestures like swiping, pointing, and clicking and testing it on real people.

Acknowledgment. This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Grant AP14871625.

REFERENCES

1 Anna Vidyayanova, "In the USA, they are interested in the development of Kazakhs for the deaf", Capital, 2022 | <https://kapital.kz/business/105455/v-ssha-zainteresovalis-razrabotkoy-kazakhstantsev-dlya-glukhikh.html>.

2 Bazarevsky, V., Fan, Zh. (2019). On-device, real-time hand tracking with mediapipe. Google AI Blog. Available at: <https://ai.googleblog.com/2019/08/on-device-real-time-hand-tracking-with.html>.

3 Russian Sign Language Dactyl Recognition, Ilya Makarov, Nikolay Veldyaykin, Maxim Chertkov, and Aleksei Pokoev National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia.

4 H.-S. Yeo, B.-G. Lee, and H. Lim, "Hand tracking and gesture recognition system for human-computer interaction using low-cost hardware," *Multimed. Tools Appl.*, May 2013.

5 A. Dhawan and V. Honrao, "Implementation of Hand Detection based Techniques for Human Computer Interaction," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 72, no. 17, pp. 6–13, 2013.

6 J.O. Pinzón-arenas, R. Jiménez-moreno, J.E. Herrera-benavides, Convolutional neural network for hand gesture recognition using 8 different emg signals[C]/2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA) IEEE, Bucaramanga, Colombia (2019), pp. 1-5.

7 Deniz Mengu, Yi Luo, Yair Rivenson, and Aydogan Ozcan "Analysis of Diffractive Optical Neural Networks and Their Integration with Electronic Neural Networks", University of California.

8 Buribayev, Z., Merembayev, T., Amirgaliyev, Y., & Miyachi, T. (2021, April). The Optimized Distance Calculation Method with Stereo Camera for an Autonomous Tomato Harvesting. In 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) (pp. 1-5). IEEE.

9 Bretzner, L., Laptev, I., Lindeberg, T. Hand gesture recognition using multi-scale colour features, hierarchical models and particle filtering, *Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition*, Pages 423-428, 2002.

10 Feng-Sheng Chen, Chih-Ming Fu, Chung-Lin Huang, Hand gesture recognition using a real-time tracking method and hidden Markov models, *Image, and Vision Computing*, Volume 21, Issue 8, Pages 745–758, 1 August 2003.

11 Ming-Hsuan Yang, Ahuja, N. Tabb, Extraction of 2D motion trajectories and its application to hand gesture recognition, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on (Volume:24, Issue: 8), Page(s):1061 - 1074, 2002.

12 Arnaud Lemoine, Sean Mcgrath, Anthony Vernon Walker Smith, Alistair Ian Sutherland, Hand gesture recognition system and method, Patent US 6128003 A, 2000.

13 Thomas G. Zimmerman, Jaron Lanier, Chuck Blanchard, Steve Bryson, Young Harvill, A hand gesture interface device, CHI '87 Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface, ACM, Pages 189-192, 2000.

14 Qing Chen, Georganas, Nicolas D., Petriu E.M., Real-time Vision-based Hand Gesture Recognition Using Haar-like Features, *Instrumentation and Measurement Technology*, Conference Proceedings, IMTC 2007, IEEE, Pages 1-6, 2007.

15 Paul S Heckbert, A seed fill algorithm, *Graphics gems*, Pages 275-277, Academic Press Professional, Inc. San Diego, CA, USA ©1990, ISBN:0-12-286169-5.

16 Malik Sikandar Hayat Khayal, Aihab Khan, Saba Bashir, Farhan Hassan Khan, Salma Aslam, Modified new Algorithm for Seed Filling, Publication of Little Lion Scientific, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 26 No. 1, 2011, ISSN 1992-8645.

17 Rafael Grompone von Gioi, Jérémie Jakubowicz, Jean-Michel Morel, Gregory Randall, On Straight Line Segment Detection, *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, DOI 10.1007/s10851-008-0102-5, Springer Science and Business Media, LLC 2008.

18 Agnes Desolneux, Lionel Moisan, Jean-Michel Morel, Meaningful Alignments, *International Journal of Computer Vision* 40(1), 7–23, 2000.

19 Kenshimov, C., Mukhanov, S., Merembayev, T., Yedilkhan, D. (2021). A comparison of convolutional neural networks for Kazakh sign language recognition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (113)), 44–54.

**Е. Н. ӘМІРҒАЛИЕВ^{1,2}, С. Б. МҰҚАНОВ¹, Д. Б. ЖЕКСЕНОВ¹,
Н. К. ҚАЛЖІГІТОВ¹, А. С. ЛИ¹, Д. Д. ЕВДОКИМОВ¹, Ш. КЕНШІМОВ²**

¹Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан

²Ақпараттық және Есептеуіш Технологиялар Институты, Алматы, Қазақстан

ҚОЛ ЖЕЛІЛЕРІН ТАҢУ ӘДІСТЕРІНІҢ НЕЙРЛІК ЖЕЛІЛЕРДІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

Соңғы жылдары ым-ишараны тану әдістері үлкен өзгерістерге ұшырады. Өйткені оған деген сұраныстың өзі басқа деңгейге жетті. Адамдар адам қызметінің әртүрлі салаларын көбірек пайдалана бастады. Қимылдарды тану мақсаты белгілі бір жолмен қалыптасқан, содан кейін камера сияқты құрылғы арқылы бақыланатын қимылдарды жазу болып табылады. Қол қимылдарын көптеген әртүрлі қолданбаларда байланыс нысаны ретінде пайдалануға болады. Оны әртүрлі мүгедектер, соның ішінде есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдар басқалармен қарым-қатынас жасау және әлеуметтік қарым-қатынас жасау үшін пайдалана алады. Біздің зерттеуіміз жасырын Марков моделі (НММ), конволюционды нейрондық желі (CNN), дифракциялық терең нейрондық желі (D2NN) және басқа нейрондық желілер негізінде қол қимылын тануды жүзеге асырудың әртүрлі әдістерін көрсетеді. Бұл зерттеуде қол қимылын тану әдістерінің алдыңғы тәсілдері мен нәтижелері, гипотезалар, диаграммалар қарастырылады, сондай-ақ ым-ишараны танудың әртүрлі әдістері арасындағы салыстырмалы шолу осы мақалада келтірілген.

Түйін сөздер: қол қимылын тану, ым-ишараны тану видео-чатты, нейрондық желілер, динамикалық қимылдар.

**Е. Н. АМИРГАЛИЕВ^{1,2}, С. Б. МУКАНОВ¹, Д. Б. ЖЕКСЕНОВ¹,
Н. К. КАЛЖИГИТОВ¹, А. С. ЛИ¹, Д. Д. ЕВДОКИМОВ¹, Ш. КЕНШИМОВ²**

¹Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан

²Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ РУК

В последние годы методы распознавания жестов претерпели серьезные изменения, потому что сам спрос на нее вышел на другой уровень. Человек все шире стал использовать различные сферы человеческой деятельности. Целью распознавания жестов является запись жестов, сформированных определенным образом, а затем отслеживаемых таким устройством, как камера. Жесты рук могут использоваться как форма общения во многих различных приложениях. Его могут использовать люди с различными ограниченными возможностями, в том числе с нарушениями слуха и речи, для общения и социального взаимодействия с другими людьми. Наше исследование демонстрирует различные методы реализации распознавания жестов рук на основе скрытой марковской модели (НММ), сверточной нейронной сети (CNN), дифракционной глубокой нейронной сети (D2NN) и других нейронных сетей. В этом исследовании рассматриваются предыдущие подходы и результаты методов распознавания жестов рук, гипотезы, диаграммы, а также сравнительный обзор различных методов распознавания жестов.

Ключевые слова: распознавание жестов рук, видеочат с распознаванием жестов, нейронные сети, динамические жесты.

A. A. AMRENOV¹, A. M. NURUSHEVA^{1}*

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

SURVEY AND ANALYSIS OF COMPUTER EMERGENCY RESPONSE TEAM SERVICES

This article discusses the functions and services of CERTs. First CERT was created with the goal to have more organized and structured approach to the computer security incident handling process. The creation of such CERTs contributes to an increase in the country's global cybersecurity index. Services that KZ-CERT provide to protect people using the Internet from malicious activity of intruders are analyzed. KZ-CERT is the center for users of national information systems and the Internet segment, which provides the collection and analysis of information on computer incidents, advisory and technical support to users in preventing computer security threats. The competence of the service includes the processing of the computer incidents in order to identify and neutralize them.

Key words: *Information Security, Global Cyber Security Index, CERT, CSIRT*

Introduction. Information processes occurring throughout the world bring to the fore, along with the tasks of efficient processing and transmission of information, the most important task of ensuring information security. This is explained by the special importance for the development of the state of its information resources, the growing cost of information in the market, its high vulnerability and often-significant damage as a result of its unauthorized use. There are many studies on security and reliability in various information systems [1]-[12].

The growth of cybercrime is the most urgent problem of our time. External influence can directly or indirectly harm the interests of the state, jeopardizing information security. The concept of “Cyber Shield” was created in the country to prevent such a phenomenon.

One of the expected results of the implementation of the concept is the constant growth of the global cybersecurity index of Kazakhstan, which includes a set of measures aimed at improving the country's cybersecurity. So, with the goal to increase the global cybersecurity index CERTs are being created as one of the technical measures to build a global cybersecurity program [13].

CERT - Computer Emergency Response Team. First malware (computer worm) influenced society as a wake-up call, after which people suddenly realized a strong need for cooperation and coordination of joint actions between system administrators and IT managers to further dealing with such incidents. Considering the fact, that downtime is the main critical factor in this situation, it is necessary to have more organized and structured approach to the computer security incident handling process. Thus, first CERT was created. There are several types of CERTs: academic, commercial, National and etc.

According to the FIRST [14] there are 635 CERT teams.

National CERTs (nCERTs) help with incident prevention and response, but they are not the only actors involved in computer incident response and prevention at the national

* E-mail корреспондирующего автора: nurusheva.assel@mail.ru

level. The growing centralization of nCERT National Services structures under government control raises important questions about the nCERT's responsibilities and how they interact with other stakeholders that play a role in cybersecurity.

National CERTs are mostly embedded in government bodies (ministries).

For example, the German National Service CERT-Bund is part of the Federal Office for Information Security (BSI), which reports to the Ministry of the Interior. CERT-Hungary operates as part of the Special National Security Service, under the Ministry of the Interior; The Mexican CERT-MX is hosted by the National Security Commission, which is part of the Mexican Ministry of the Interior that deals with internal security.

In addition to operating within government departments, some nCERTs are part of national cybersecurity centers, such as US-CERT, which is located at the National Cybersecurity and Communications Integration Center (NCCIC), or CERT Australia, which is co-located with the cybersecurity centers of other Australian government organizations in Australian National Cyber Security Centre. Other government nCERTs are part of a public institution but have public-private structures, such as NCSC.nl in the Netherlands and CERT.at in Austria.

The Australian Cyber Security Center (ACSC) leads the Australian Government's efforts to improve cyber security. Monitor cyber threats around the world 24 hours a day, seven days a week to give Australians advance warning of what to do. Provide advice and information on how to protect people and their business online. When a cybersecurity incident occurs, provides clear and timely advice to individuals, companies and critical infrastructure operators. There are National Cybersecurity Centers where they collaborate with nearly 2,000 partners from business, government and academia on current cybersecurity issues.

CERT of Kazakhstan KZ-CERT is the center for users of national information systems and the Internet segment, which provides the collection and analysis of information about computer incidents, consultations and technical support users in preventing computer security threats. The competence of the service includes the processing of the following computer incidents in order to identify and neutralize them: brute forcing of passwords or other authentication data, hacking security systems, hostile scanning of national information networks and hosts, unauthorized access to information resources, spreading the malware and unsolicited mail (spam), attacks on network infrastructure and server resources.

Analysis and results. According to the Law of the Republic of Kazakhstan "On informatization" CERT is a legal entity or a structural subdivision of a legal entity, carrying out activities in accordance with the competence established by this Law. And it implements next functions:

- 1) collects and analyzes information about information security incidents and current information security threats, and provides recommendations for their elimination
- 2) develop recommendations aimed at countering information security threats
- 3) informs owners of informatization objects, as well as the National Information Security Coordination Center about information security incidents and threats that have become known.

The main tool that is used by CERTs for incident response are SIEM systems. SIEM is an advanced detection system for malicious activity and various system anomalies. The

operation of SIEM allows to see a more complete picture of network activity and security events. By help of SIEM system CERT detect some malicious activity and investigate it. Other tools according to [15] which are used by CERTs in incident response process are OSINT tools and other free tools. Author says that the choice of these tools depends on the type of incident, role and expertise of CERT member. Most used OSINT tools are free, while some are commercial tools for very specific areas of investigation such as digital forensics. Table 1 describes some tools that are used in CERTs' processes.

Table 1 – Tools that are used in processes of CERTs [15]

Tool	Tool
VirusTotal	OSINT, freeware without open-source, malware intelligence and analysis
AlienVault OTX	OSINT, freeware without open-source, online threat indicators
Shodan	OSINT, freeware without open-source, for searching into the IoT
IntelMQ	OSINT, OS, for collecting and processing security feeds
REMnux	FW, malware analysis
Wireshark	OS, network protocol analyser
Apache Flink	OS, for netflow analysis
Kali Linux	FW+OS, security-enhanced Linux distribution with many useful tools
Nmap	OS, for network discovery and security auditing

To provide services of CERT in Kazakhstan it is necessary to obtain the license. For this purpose, CERT should meet some qualification requirements: requirements for employees, requirements for search tools.

Requirements for employees:

The list of specialists with higher or professional technical education who have undergone retraining, advanced training in the area of information security:

1) at least three specialists with diplomas of higher and (or) professional technical education in the profile of information security (information protection);

2) at least two specialists with certificates in the field of auditing the requirements of the international standard ISO 27001;

3) at least one specialist in computer forensics (for example, EC-Council Certified Security Analyst, GIAC Certified Forensic Analyst and others);

4) at least one specialist in reverse engineering and (or) malware analysis (for example, GIAC Reverse Engineering Malware and others);

5) at least one specialist in ethical hacking and (or) penetration testing (for example, Offensive Security Certified Professional, EC-Council Certified Ethical Hacker, GIAC Penetration Tester and others)

Requirements for search tools:

CERT should have at least minimal set of search tools which consist of IRP (Incident response platform), Threat Intelligence Platform, Static Malware Static Analysis Tool, Sandbox Dynamic Malware Analysis Tool.

Incident response process. In different sources, the phases of the process of incident response are separated in different ways. For example, NIST 800-61 R2 distinguishes 4 response phases (Preparation, Detection & Analysis, Containment & Eradication & Recovery, Post-Incident Activity). The ISO/IEC 27035:2016 standard has 5 phases, while the SANS institute divides the process into 6 phases, but they all come down to the following points: preparation, analysis, containment, eradication, recovery, post-incident activity.

Preparation. The Preparation phase consists of planning, building a team, preparing tools, places, compiling documentation and materials for the response, etc.

Identification. Incident response begins with the detection of a cyberattack or data breach. At this stage, an incident is notified, experts assess the threat and collect data about it. Usually, the process of identification comes down to the study of logs.

Analysis. Then a purely analytical phase begins: it is necessary to figure out what happened and how it could happen, assess the level of danger of what happened and, based on the received data, decide on further actions. Several attack vectors are being tested. The indicators of compromise found during the check (hash sums, file names, IP addresses, URLs) must then be checked against reputation databases. The analysis phase will determine whether the infection was successful, search for related and previous events on the infected host, determine the extent of distribution and determine the severity of the incident, and classify the malware.

The response team takes action to stop the spread of the threat. These may include isolating affected devices, isolating affected network segments, temporarily shutting down the Internet, and so on. One of the additional goals of this stage is to prevent the destruction of traces of the attack, which will be required during the investigation.

Containment. The response team takes action to stop the spread of the threat. These may include isolating affected devices, isolating affected network segments, temporarily shutting down the Internet, and so on. One of the additional goals of this stage is to prevent the destruction of traces of the attack, which will be required during the investigation.

Eradication. The response team takes action to stop the spread of the threat. These may include isolating affected devices, isolating affected network segments, temporarily shutting down the Internet, and so on. One of the additional goals of this stage is to prevent the destruction of traces of the attack, which will be required during the investigation.

Recovery. Once the incident is isolated and its further spread is excluded, it is necessary to “cure” the affected assets.

The result of the actions taken at this stage should be, for example, confirmation that the affected assets are no longer malware and that they do not pose a threat to the rest of the network. Sometimes response team travels to the customer to take the necessary remedial action. In most cases, it can be done remotely. All actions are documented in detail, the information in the incident card is supplemented.

Post-incident activity. After completing all the steps in the processing of the incident, you need to conduct a Lesson learned.

Based on the information collected and documented in the incident card, CERT can:
develop recommendations for strengthening security for the identified attack vector;
adjust the settings of protection tools and rules for detecting incidents;

adjust regulatory and reference documentation for responding to information security incidents;

apply administrative measures to increase the awareness of employees in the field of information security or disciplinary sanctions.

After analyzing several CERTs' webpages and the services they provide, it is proposed to divide the functions into the categories, which are presented in Table 2:

Table 2 – Functions of CERT

CERT Functions		
Reactive	Proactive	Quality management
Handling information security incidents	Monitoring and detection of information security events	Increasing the awareness of employees in the field of information security
Computer forensics	Providing regular reporting	Conducting trainings and studying for colleagues
Field and remote response	Audit of information system assets	Information security consulting
Coordination of internal and external departments	Security Management	Publication of information security bulletins and other materials
Fixing vulnerabilities	Proactive Threat Hunting	Development and adjustment of regulations and information security policies
Operation of protective equipment	Computer systems security assessment	Participation in building information security architecture and choosing specific solutions
Accumulation of experience and recommendations for strengthening security	Support for information security tools	Assessment and analysis of information security risks for the organization

There is a huge number of services that CERTs can provide to its clients, but so far, none of the existing CERTs provides all these services taken together. Therefore, choosing the appropriate list of provided services is extremely important task.

These services can be classified as reactive services, proactive services, and quality management services.

On a specific example, we can consider the services provided by KZ-CERT. According to the KZ-CERT's website, they provide the following services:

- Gathering computer incident reports and assistance regarding the issues of prevention and investigation of computer incidents in the Internet
- Delivery of consulting assistance and instruction on prevention computer legal violations (hacking attempts or virus attacks etc.)
- Cooperation with public or private organizations on computer security issues as well as with computer security solutions vendors and distributors
- Providing information exchange with users through KZ-CERT's call-center.

In this study, KZ-CERT was chosen to analyze the services provided by Computer Emergency Response Team.

Information about number of handled cybersecurity incidents [16] was analyzed. Total number of security incidents in the first half of 2022 is presented on figure 1:

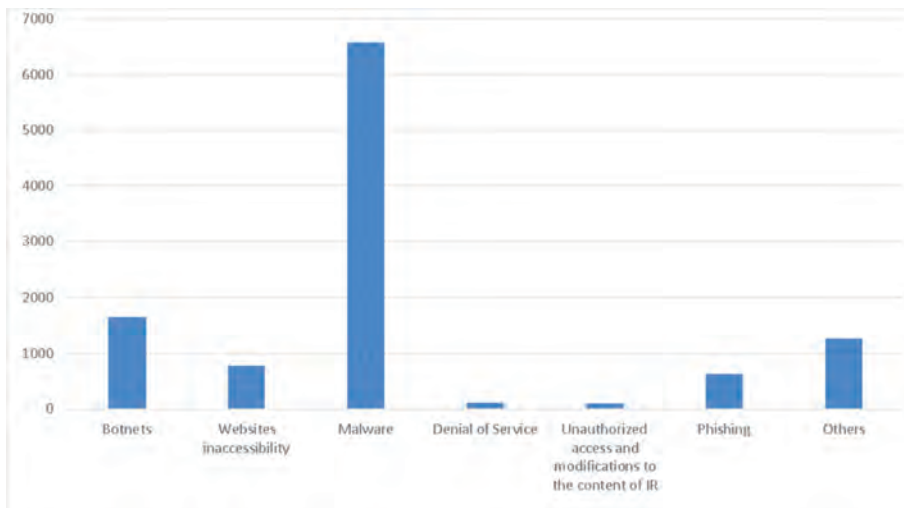


Figure 1 – Number of information security incidents that were processed in first half of 2022[16]

The largest number of incidents that occurred in 2022 related to malware. Malware is malicious software that can cause harm in a variety of ways, including:

- blocking or inability to use the device
- theft, deletion or encryption of data
- taking control of your devices to attack other organizations
- Obtaining credentials that allow you to access organization's systems or services that you use
- “mining” of cryptocurrencies.
- using services that may cost you money (such as premium phone calls).

To protect against malware, KZ-CERT suggests the following recommendations: make regular backups, prevent the delivery and distribution of malware to devices, and prevent malware from running on devices.

The next two most spread types of incident that occurred in the first half of 2022 were botnets and website unavailability. KZ-CERT monitors and detects suspicious activity on the network that is associated with botnets by means of information security tools. After botnet identification, they take measures to mitigate the effects of botnet activity. For example, they give recommendations to those whose computers have become part of the botnet.

KZ-CERT services also include tracking websites for availability. Unstable work or complete unavailability of websites can be caused by numerous reasons. Most common are technical malfunctions on servers, high attendance, website problems, actions of hackers. To avoid the outflow of customers, lower positions when ranking by search engines, you

need to monitor constantly the operation of the resource, receive information about the availability of the site in time and troubleshoot.

Figure 2 below provides information about the number of handled information security incidents related to botnets in different years.

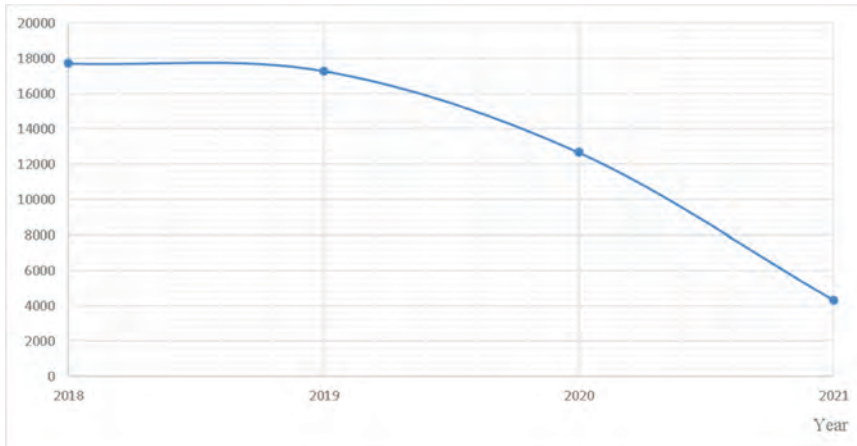


Figure 2 – The number of handled incidents related to botnets depending on the year [16]

Exactly 17724 botnet-related information security incidents were registered by KZ-CERT in 2018. During next few years (17300 in 2019, 12670 in 2020, 4304 in 2021) this number is decreased, which most likely connected with optimization processes conducted by KZ-CERT. After detecting botnets cybersecurity experts inform owners [17] of internet resources with recommendations for elimination and send notifications to foreign providers from whose address space attacks have been detected.

Figure 3 below provides information about the number of handled information security incidents related to websites unavailability in different years.

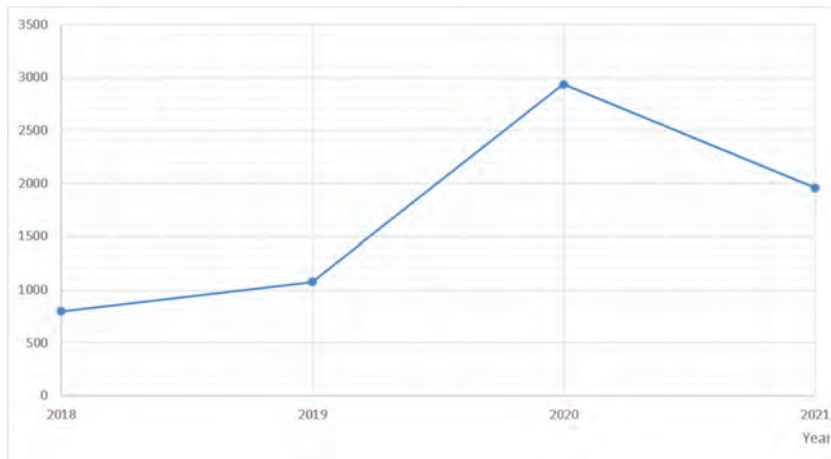


Figure 3 – The number of handled incidents related to websites inaccessibility depending on the year [16]

According to the figure 3 the largest number (2937) of websites' unavailability was in 2020. This is apparently because big amount of people who began to use online services during COVID. This could lead to freezing and slow operation of online services or to a complete stop of the functioning of Internet resources. This may also be due to markedly increased number of DDoS attacks in 2020. Compared to 2019, the number of DDoS attacks increased by 42% [18]. In case when some DDoS attack occurs and websites stop working, they send notification with recommendations to an owner of sites. After the owner of the information system is notified, he can take further steps to restore the site. At the next stage, if the owner has difficulties, he can request assistance from the CERT.

Conclusions. Security incident response depends on a type of incident and demand different approaches to handle them. For example, KZ-CERT for each type of information security incident make specific recommendations and send them to users who suffered from malicious activity. The services provided by the CERT to Internet users play an important role in ensuring information security locally and globally. There are many types of CERTs from commercial to government. Every day CERTs mitigate and process a large number of security incidents. And their responsibilities (incident response, reporting, user notification) is aimed at reducing or preventing the consequences of cyberattacks on different information systems. The creation of such CERTs contributes to an increase in the country's global cybersecurity index.

REFERENCES

1 Boranbayev, S. & Goranin, Nikolaj & Nurusheva, Assel. (2018). The methods and technologies of reliability and security of information systems and information and communication infrastructures. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 96. 6172-6188.

2 A. Boranbayev, S. Boranbayev, A. Nurusheva, K. Yersakhanov. The Modern State and the Further Development Prospects of Information Security in the Republic of Kazakhstan // 15th International Conference of Information Technology, Information Technology – New Generations, 2018. - pp. 33-38.

3 A. Boranbayev, S. Boranbayev, K. Yersakhanov, A. Nurusheva, and R. Taberkhan. Methods of Ensuring the Reliability and Fault Tolerance of Information Systems // 15th International Conference of Information Technology, Information Technology – New Generations, 2018. - pp. 729-730.

4 Боранбаев А.С., Боранбаев С.Н., Ерсакханов К.Б., Нурушева А.М. Выявление потенциальных отказов программного обеспечения и их нейтрализация // Сб. докл. IV Межд. науч.-практ. конф., Астана, 2017. – С. 338-340.

5 Боранбаев С.Н., Нурушева А.М., Ерсакханов К.Б. Анализ состояния информационной безопасности Республики Казахстан и перспективы его развития // Сборн. докл. IV Межд. науч.-практ. конф., Астана, 2017 – С. 341-344.

6 Boranbayev, A., Boranbayev, S., Nurusheva A., Yersakhanov K. (2018). Development of a Software System to Ensure the Reliability and Fault Tolerance in Information Systems. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(23), 10080–10085.

7 Boranbayev, S., Goranin, N., Nurusheva, A. The methods and technologies of reliability and security of information systems and information and communication infrastructures // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2018. – 96(18) – С. 6172–6188.

8 Boranbayev A.S., Boranbayev S.N., Nurusheva A.M., Yersakhanov K.B., Seitkulov Y.N. Development of web application for detection and mitigation of risks of information and automated systems // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2019. – 7(1) – pp. 4-22.

9 Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., Boranbayev S. Information Security Risk Assessment in Critical Infrastructure: A Hybrid MCDM Approach // Informatica. – 2019. – 30, No. 1 – pp.265-289.

10 Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., Boranbayev S. A Fuzzy WASPAS-Based Approach to Determine Critical Information Infrastructures of EU Sustainable Development // Sustainability. – 2019. – 11(2) – 424 p.

11 Boranbayev A., Boranbayev S., Nurusheva A. Development of a software system to ensure the reliability and fault tolerance in information systems based on expert estimates // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – Vol. 869. – pp.924-935.

12 Boranbayev A., Boranbayev S., Nurusheva A., Yersakhanov K., Seitkulov Y. A software system for risk management of information systems // Proceedings of the 2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT 2018). – 17-19 Oct. 2018. – Almaty, Kazakhstan. – pp. 284-289.

13 <https://www.itu.int/epublications/publication/global-cybersecurity-index-2020/en/>

14 <https://www.first.org/members/teams/>

15 S. R. B. Mohd Kassim, S. Li, and B. Arief, “How national CERTs leverage public data, OSINT and free tools in operational practices: An empirical study,” Cyber Security: A Peer-Reviewed Journal, vol. 5, no. 3, pp. 1– 26, 2022.

16 https://cert.gov.kz/press_club/infographics

17 <https://cert.gov.kz/news/11/2064>

18 <https://sts.kz/2020/07/22/%D0%9E%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80-%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2-%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%B%D0%BD%D0%BE%D0%B9-%D0%B1%D0%B5%D0%B7/>

A. K. АМРЕНОВ¹, А. М. НУРУШЕВА^{1*}

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

КОМПЬЮТЕРЛІК ИНЦИДЕНТТЕРГЕ ӘРЕКЕТ ЕТУ ТОБЫ ҚЫЗМЕТТЕРІНЕ ШОЛУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

Бұл мақалада CERT мүмкіндіктері мен қызметтері талқыланады. Бірінші CERT компьютерлік қауіпсіздік инциденттерін өңдеу процесіне неғұрлым ұйымдасқан және құрылымдық көзқарас мақсатымен жасалған. Мұндай CERT құру елдің жаһандық киберқауіпсіздік индексін жақсартуға ықпал етеді. Интернетті пайдаланатын адамдарды зиянкестердің әрекетінен қорғау үшін KZ-CERT ұсынатын қызметтері талданды. KZ-CERT – ұлттық ақпараттық жүйелерді және интернет сегментін пайдаланушыларға арналған орталық, ол компьютерлік инциденттер туралы ақпаратты жинауды және талдауды, компьютерлік қауіпсіздікке төнетін қатерлердің алдын алуға пайдаланушыларға кеңес беру және техникалық қолдау көрсетуді қамтамасыз етеді. Қызметтің құзыретіне компьютерлік инциденттерді анықтау және бейтараптандыру мақсатында өңдеу кіреді.

Түйін сөздер: ақпараттық қауіпсіздік, жаһандық киберқауіпсіздік индексі, CERT, CSIRT.

А. К. АМРЕНОВ¹, А. М. НУРУШЕВА^{1*}

¹Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

ОБЗОР И АНАЛИЗ УСЛУГ СЛУЖБЫ РЕАГИРОВАНИЯ НА КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНЦИДЕНТЫ

В статье обсуждаются функции и сервисы CERT. Первый CERT был создан с целью более организованного и структурированного подхода к процессу обработки инцидентов компьютерной безопасности. Создание таких CERT способствует повышению глобального индекса кибербезопасности страны. Проанализированы услуги, которые KZ-CERT предоставляет для защиты людей, использующих Интернет, от деятельности злоумышленников. KZ-CERT — центр для пользователей национальных информационных систем и интернет-сегмента, обеспечивающий сбор и анализ информации о компьютерных инцидентах, консультационную и техническую поддержку пользователей в предотвращении угроз компьютерной безопасности. В компетенцию службы входит обработка компьютерных инцидентов с целью их выявления и нейтрализации.

Ключевые слова: информационная безопасность, глобальный индекс кибербезопасности, CERT, CSIRT.

M. M. ZHIYENBAYEV, A. G. OSPAN, M. E. MANSUROVA*

*Department of Artificial Intelligence and Big Data, Faculty of Information Technology,
Al-Farabi Kazakh National University*

Almaty, Kazakhstan

meiran1991@gmail.com; asselyaospan@gmail.com; mansurova.madina@gmail.com

ETL PROCESS FOR WATER RESOURCES AND DEMOGRAPHICS DATA: AN OPEN SOURCE DATA PROCESSING TOOLS AND VISUALIZATIONS

Open data portals have become increasingly popular in recent years as more and more governments, organizations, and businesses recognize the benefits of making data publicly available for researchers, analysts and decision-making platforms. Many governments have launched their portal at the national, regional, and local levels. In addition to traditional government datasets such as demographics, finance, and transportation, open data portals are increasingly providing access to a broader range of data types, including environmental data, health data, and social media data. Many open data portals are offering improved tools for data analysis and visualization, making it easier for users to extract insights from the data. Increased collaboration and engagement between government, businesses, and the public, with features such as forums and hackathons. The purpose of this research is to find a way to automate data collecting and visualization processes by using different open source technologies and promoting Open Data Portal by using environmental data, especially water resources and pollution data from the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, Bureau of National Statistics.

Key words: *data package, data portal, water pollution index, open data, csv.*

Introduction. Open data portals are online platforms that provide access to government data in a structured, standardized, and machine-readable format. Here are some of the key reasons why open data portals are important for countries:

– **Transparency and Accountability:** Open data portals increase transparency and accountability by making government data available to the public. Citizens can use this information to hold government officials accountable for their actions and decisions [1].

– **Economic Development:** Open data portals can stimulate economic development by providing businesses with access to valuable data that can inform their decisions. This can lead to the creation of new businesses and job opportunities [2].

– **Improved Service Delivery:** Open data portals can improve service delivery by making government data available to service providers and other stakeholders. This can help service providers to better understand the needs of their clients and to design more effective programs and services [1].

– **Innovation:** Open data portals can stimulate innovation by providing entrepreneurs, researchers, and developers with access to data that can be used to create new products and services. This can lead to new business opportunities, increased competitiveness, and economic growth [3].

– **Better Decision Making:** Open data portals can enable better decision making by providing policymakers with access to data and analytics. This can help them to design more effective policies and programs that meet the needs of citizens [1].

* E-mail корреспондирующего автора: mansurova.madina@gmail.com

Overall, open data portals are important tools for countries that want to promote transparency, accountability, economic development, innovation, and better decision making. By making government data available to the public in a structured and accessible format, open data portals can help to drive positive change and improve the lives of citizens. Figure 1 depicts the open data portals by Open Knowledge Foundation <https://okfn.org/>, there are 597 open data portals from around the world. Unfortunately, in Kazakhstan, we have only few portals compared to other countries. More open portals in the Republic of Kazakhstan will allow us to make more informed data-driven decisions.



Figure 1 – Open Data Portals by Open Knowledge Foundation (dataportals.org [4])

For the water resources of Kazakhstan, there are also open data portals, which collect socio-economic indicators, data on Kazakhstan's water resources, air pollution and surface water pollution, and data on industries. But despite the fact that all data is in the public domain, all information is stored in unstructured or semi-structured sources, such as text documents, excel files or PDF documents. Storing data in such formats makes it difficult to understand the situation and complicates readability. To do this, this paper presents dashboards for visualizing data on the water resources of Kazakhstan and their relationship with socio-economic indicators. Since water resources are an important part of the country's economy and agro-industry, 8 main water intake basins with hydro-energy resources, as well as rivers and water pollution indices, were selected for visualization. (Figure 2). Architecture and electronic graphics are built on the basis of these data.

ETL Design and Architecture. This paper takes you through the entire ETL process, as shown in Figure 3, data management and visualization. ETL is the process of extracting data from one or more sources, transforming it to fit the target schema, and loading it into a target data warehouse. ETL is a complex and time-consuming process that requires careful planning and execution [5]. First part of this process we explain the tools and packages to make data powerful and readable, in addition, we provide you schema for processing data from the source to the structured form with publicly available tools. When our data is clean



Figure 2 – 8 water basins of Kazakhstan: 1. Aral-Syrdarya, 2. Ile-Balkhash, 3. Irtysh, 4. Ishim, 5. Nura-Sarysu, 6. Tobol-Turgay, 7. Ural-Caspian, 8. Shu-Talas

and structured in commonly used data format, as an example we came up with comma separated values(CSV) files. There are huge advantages using CSV file format:

- easy to read and write - CSV is an easy-to-read and - write file format for data exchange between systems and applications [6];
- lightweight - CSV files are lightweight, and their small file size makes them easy to share and transfer over the internet [7];
- compatible with a wide range of applications - CSV is a universal format that can be easily imported and exported by a wide range of applications, including databases, programming languages, and spreadsheet software [8];
- preserves data structure - CSV format preserves the data structure, including column headers and data types, making it easy for users to understand and work with the data [9].
- open standard - CSV is an open standard format that is widely used for data exchange because it is simple, widely supported, and platform-independent [10].

ETL process for generation structured datasets is built using Python programming language with automation of some open source technologies. During the cleaning process, the major role is played by the dataflows [11] library which has all necessary methods to clean, parse, pivot data. The source data comes from the Agency for Strategic planning and reforms of the Republic of Kazakhstan, Bureau of National Statistics <https://stat.gov.kz/>. Analyzing the documents, they are not standardized and structured, mainly in excel format with different structure and data formats which are not structured to use in building dashboards and doing some analytics. So our goal is to build a data pipeline which has collecting, cleaning, formatting and packaging steps which are fully automated and scheduled depending on the source published dates.

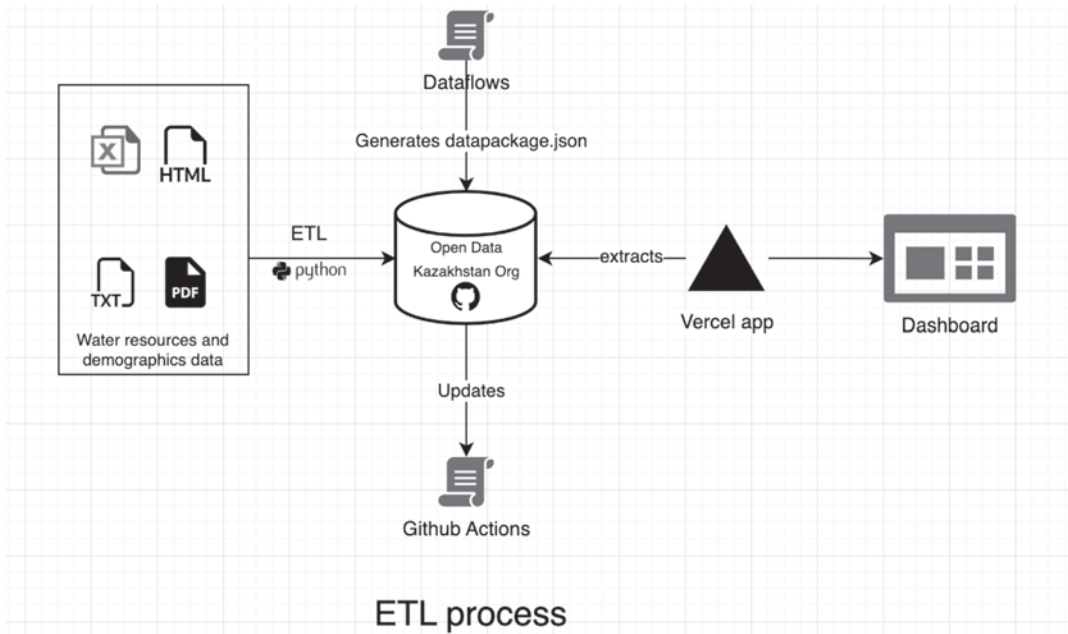


Figure 3 – ETL process for water resources and demographics data

When building our dataset, we use lightweight yet comprehensive data standards as Data Package [12]. Basic container format for describing a collection of data in a single “package”. It provides a basis for convenient delivery, installation and management of datasets. A Data Package can contain any kind of data. At the same time, Data Packages can be specialized and enriched for specific types of data so there are, for example, Tabular Data Packages for tabular data, Geo Data Packages for geo data etc. Figure 4 shows metadata json file, you can find all necessary information about the data such as author, license, published date, total of rows, profile, hash and metadata about each resource with format, encoding, name, title schema describing each field, as shown in Figure 5. The Data Package is supported also by Open Knowledge Foundation and its specification is updated and posted in channels, posts [13].

```
{
  "bytes": 35353,
  "count_of_rows": 758,
  "hash": "5cd6f19c107f1d629ae5964ee77e51dd",
  "name": "water-resources-and-demographics-kz",
  "profile": "data-package",
  "resources": [{}],
  "title": "Water resources and demographics"
}
```

Figure 4 – This is the sample generated metadata about the package.

```

"resources": [
  {
    "bytes": 905,
    "dialect": {},
    "encoding": "utf-8",
    "format": "csv",
    "hash": "d326420241eb43816d63ffe67a151053",
    "name": "water-basins-kz",
    "path": "data/water-basins-kz.csv",
    "profile": "tabular-data-resource",
    "schema": {
      "fields": [
        {
          "format": "default",
          "name": "basins_kz",
          "type": "string"
        },
        {},
        {},
        {},
        {},
        {},
        {},
        {},
        {}
      ],
      "missingValues": [
        ""
      ]
    }
  ]

```

Figure 5 – This is the sample generated metadata about the resources (github.com/open-data-kazakhstan/water-resources-and-demographics[14])

Data storage and management. Second part of the process is to keep the data up to date and publicly available. In order to accomplish this step, we are using and enhancing Open Data Kazakhstan organization [15] in the GitHub platform which collects, cleans, structures and keeps data from different formats. Currently, this organization has several core datasets such as “Decent work indicators”, “Gross domestic product per capita using production method by regions”, “Average per capita nominal cash income of the population”, “Demographics in Kazakhstan by region, age and sex.”, “Covid statistics” and so on. In addition, this organization develops a “School of Data” portal where students and enthusiasts about the data can join and solve real world issues by helping our country to prepare Data Engineers. For these reasons we came up with the solution to keep data in Open Data Kazakhstan organization in Github repository since all our sources are public and open

[16]. For this paper, we are using the “Water resources and Demographics” repository under the organization and make it public so everyone can access it and get some insight from our dashboards and use it for their papers and future works. Lastly, the reason behind publishing datasets into Open Data Kazakhstan is to promote open data portals in our country, to help researchers, analysts, and students to do some analysis with structured and clean datasets.

In order to keep data up to date we added Github Actions [17] which runs periodically depending on the data, the configuration file as shown in Figure 6. GitHub Actions is a powerful tool that allows developers to automate their workflows and streamline their development processes. Here are some advantages of using GitHub Actions for updating data such as automated data updates, version control, collaboration, integration with other tools and open-source community [18].

```
name: Water resources and demographics pipeline
on:
  push:
    branches:
      - master
  schedule:
    - cron: "0 0 1 1 *"

jobs:
  build:
    runs-on: ubuntu-22.04
    steps:
      - uses: actions/checkout@master
      - name: Build the data and create local changes
        uses: actions/setup-python@v1
        with:
          python-version: '3.11.2'
          architecture: x64
      - run: |
          pip install -r requirements.txt
          python scripts/process.py
      - name: Commit files
        run: |
          git config --local user.email "action@github.com"
          git config --local user.name "GitHub Action"
          git commit --allow-empty -m "Auto-update of the data package" -a
      - name: Push changes
        uses: ad-m/github-push-action@master
        with:
          github_token: ${ secrets.gh }
```

Figure 6 – This is the generated actions.yml for Github actions (workflows/actions.yml [15])

Data visualization. In addition, we build some graphs out of data, so it can be useful to see some trends in water consumption and resources. Dashboard [19] is built by using the Vercel [20] platform which provides the speed and reliability during the inspiration of our researchers to quickly build frontend applications. Vercel is a platform that provides a serverless development environment for building web applications, including data visualizations. Here are some benefits of using Vercel for building visualizations such as high performance by loading visualizations quickly, since it is based on serverless architecture, your visualizations can scale automatically to handle large amounts of data, a simple deployment process that allows you to easily deploy your visualizations to the web, also supports collaboration features which allow to work with other developers on your visualizations, making it easy to collaborate on projects and share code. The codebase is also available publicly on Github [21]. In addition, the reason we are building visualization on Vercel, it integrates with popular data visualization libraries such as D3.js and Plotly [22]. It is publicly available on the web so researchers, analysts, data enthusiasts can take a look at the water resources and consumptions by basins, rivers and water pollution indicators.

Dashboard and processed dataset are synchronized together so it will be updated automatically when changes will be applied to the dataset repository, so it will be updated. During the implementation of this project, we proposed only open source tools and libraries, so anyone can create data pipelines and dashboards freely by enriching our publicly open organization. Additionally, there are some graphs on average annual water consumption, water and energy resources. These are some samples taken from the dashboard such as water resources in cure meters by basins, as shown in Figure 7, share of river (Figure 8) and water pollution index (Figure 9).

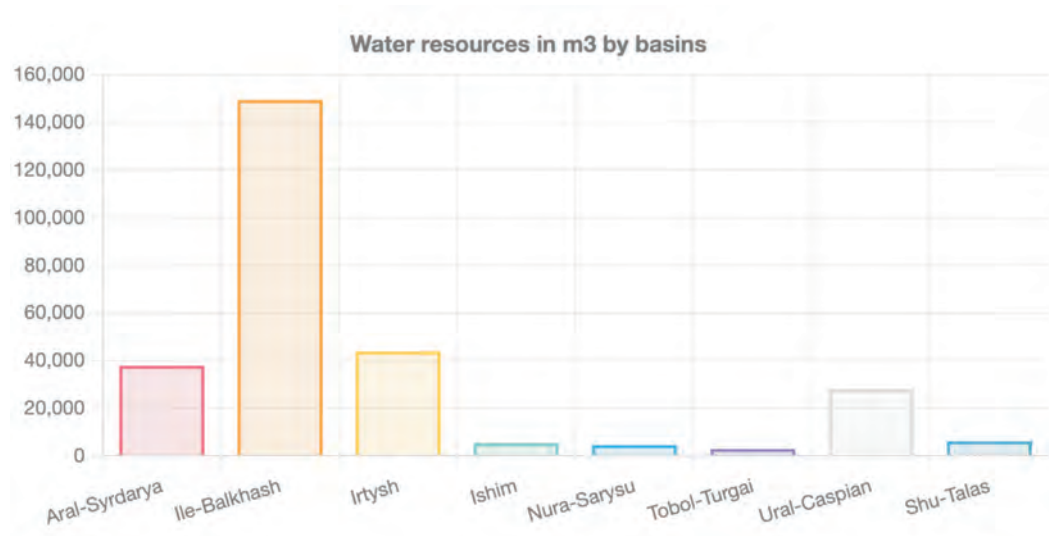


Figure 7 – Water resources in m3 by basins - Republic of Kazakhstan ([https://water-resources-and-demographics-dashboard.vercel.app/\[19\]](https://water-resources-and-demographics-dashboard.vercel.app/[19]))

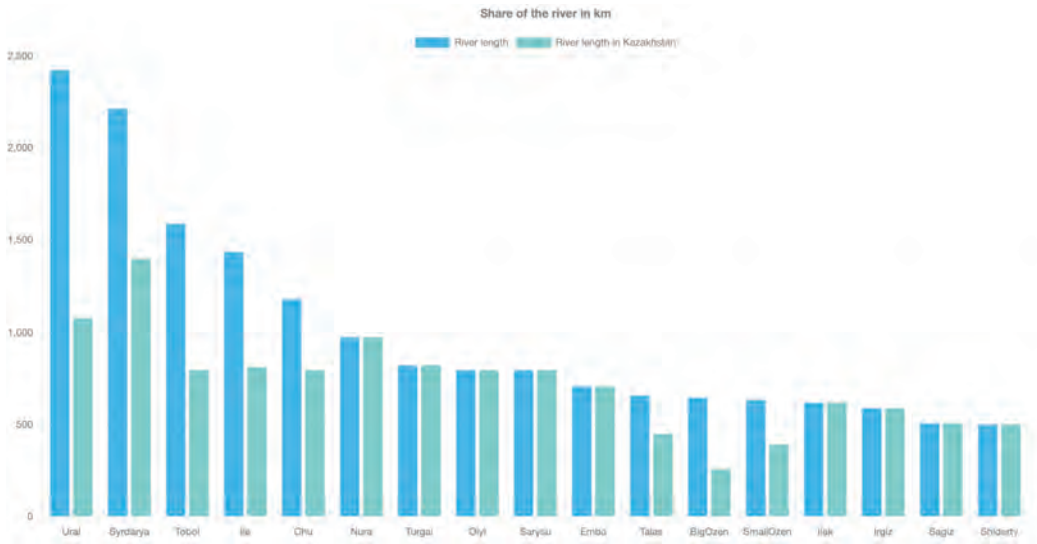


Figure 8 – Share of the river in kilometers - Republic of Kazakhstan ([https://water-resources-and-demographics-dashboard.vercel.app/\[19\]](https://water-resources-and-demographics-dashboard.vercel.app/[19]))

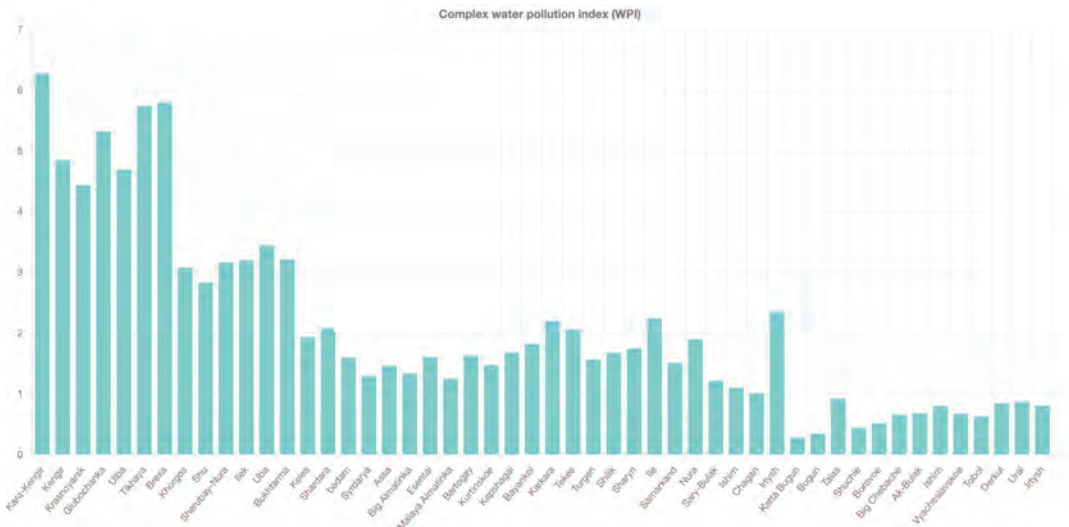


Figure 9 – Complex water pollution index(WPI) - Republic of Kazakhstan ([https://water-resources-and-demographics-dashboard.vercel.app/\[19\]](https://water-resources-and-demographics-dashboard.vercel.app/[19]))

Results. To visualize data on water intake basins, rivers and the water pollution index, the following steps were performed:

1. Collection of data on socio-economic indicators from open sources, such as the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan (stat.gov), 8 water intake basins and rivers, surface water pollution index (kazhydromet.kz);

2. Data conversion from unstructured and semi-structured data to a structured format (CSV);

3. Placement of data on Open Data Kazakhstan on the GitHub platform, which collects, cleans, structures and stores data from different formats;

4. Graphing for better understanding and data analysis.

Further, based on the constructed graphs, the user can do a comparative analysis. In our research area, we see that the largest water intake basin is the Ile Balkhash basin, which is located in Almaty, Zhambyl and Karaganda regions. Also, these regions are the most densely populated regions, also the Karaganda region is the most industrial region. All this leads to the fact that it is from the Ile-Balkhash basin that there will be the most water intake for the agricultural and household needs of the population, for industries and agriculture.

On the basis of the 3rd graph (Fig. 8) it is possible to trace the pollution of water bodies. Here we can conclude that the largest WPI of water falls on those water bodies that are closer to industrial plants, and the growth of the population of the region also has a direct impact on the WPI.

Based on the results of this work, we can conclude that by building dashboards for data on water resources and socio-economic indicators, it is possible to better analyze the data and identify correlations between these indicators. Further on this work, it is planned to add data on the level and flow of water, on the incidence of the population living close to the water intake populations, on industries using hydro-energy resources and changes in WPI over time intervals. All this in the future will show us a clearer picture of the impact of water resources in general on the overall social and economic indicators of the country. All the datasets which are used for the analysis are published on “Open Data Kazakhstan” open data portal [23] which provides enhanced open data systems for public use.

Conclusion. We demonstrated the power of open data and tools where we can create a data pipeline and dashboards using open source projects. Contributing to open data portal would help other researchers to make a quality data analysis and decision making based on structured and clean data. As we discussed in this paper, increasing data portals at the national, regional and local levels could help the public to get more insights from the data. In addition, we are not only providing access to environmental data which plays a key role nowadays when we have a water shortage. This paper would trigger other researchers to collect and do analysis on other parts of data such as media, health, transportation.

Acknowledgement. This work was funded by Committee of Science of Republic of Kazakhstan AR09261344 “Development of methods for automatic extraction of geospatial objects from heterogeneous sources for information support of geographic information systems” (2021-2023).

REFERENCES

- 1 Open Data Handbook - Transparency and Accountability - <https://opendatahandbook.org/guide/en/why-open-data/#transparency-and-accountability>
- 2 World Bank - Open Data for Economic Growth - <https://www.worldbank.org/en/topic>
- 3 European Data Portal - Open Data as a Driver of Innovation - <https://data.europa.eu/en>.
- 4 A Comprehensive List of Open Data Portals from Around the World by Open Knowledge Foundation - <https://dataportals.org/>
- 5 Kimball, R. & Ross, M. (2013). The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling, Third Edition.

6 E. Rössel, M. Matten, & M. Westenberger (2018). Software Tools for Academic Research: A Guidebook for Social Scientists. Springer International Publishing.

7 J. P. Grimes & D. D. Jorgensen (2016). Introductory Statistics: A Conceptual Approach Using R. CRC Press.

8 D. Duggan & M. Gruen (2015). Big Data Analytics: From Strategic Planning to Enterprise Integration with Tools, Techniques, NoSQL, and Graph. Apress.

9 P. Baumann & K. Janowicz (2015). GeoSemantic Technologies for Intelligent Transportation Systems. Springer International Publishing.

10 S. L. Morgan & C. J. Winship (2015). Counterfactuals and Causal Inference: Methods and Principles for Social Research. Cambridge University Press.

11 Dataflows library - <https://github.com/datahq/dataflows>

12 Data package standart - <https://frictionlessdata.io/projects/#individual-file>

13 Zhiyenbayev M. (2017). Data Package v1 Specifications. What has Changed and how to Upgrade. Open Knowledge Lab. <https://okfnlabs.org/blog/2017/10/11/upgrade-to-data-package-specs-v1.html>

14 Water Resources and Demographics Republic of Kazakhstan - <https://github.com/open-data-kazakhstan/water-resources-and-demographics>

15 Github repository for dataset - <https://github.com/open-data-kazakhstan/water-resources-and-demographics>

16 Open data - https://en.wikipedia.org/wiki/Open_data

17 Github actions - <https://docs.github.com/en/actions>

18 GitHub Actions Documentation - <https://docs.github.com/en/actions>

19 Water resources and demographics dashboard - <https://water-resources-and-demographics-dashboard.vercel.app/>

20 Vercel platform - <https://vercel.com/>

21 Vercel app for dashboard - <https://github.com/Mikanebu/water-resources-and-demographics-dashboard>

22 Supported Frameworks on Vercel - <https://vercel.com/docs/frameworks>

23 Open Data Kz - <https://www.opendatagov.kz/>

M. M. ЖИЕНБАЕВ, Ә. Ф. ОСПАН, М. Е. МАНСУРОВА

*Жасанды интеллект және Big Data, Ақпараттық технологиялар факультеті,
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті
Алматы қ., Қазақстан*

СУ РЕСУРСТАРЫНА ЖӘНЕ ДЕМОГРАФИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРЛЕРГЕ ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН ETL ПРОЦЕСІ: ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУДЕГІ OPEN SOURCE ҚҰРАЛДАР МЕН ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАР

Ашық деректер порталдары соңғы жылдары көбірек танымал болды, өйткені көбірек үкіметтер, ұйымдар және бизнес зерттеушілер, талдаушылар және шешім қабылдау платформалары үшін жалпыға қолжетімді деректердің қолжетімділігінің артықшылықтарын мойындайды. Көптеген үкіметтер ұлттық, аймақтық және жергілікті деңгейлерде өз порталдарын іске қосты. Демография, қаржы және көлік сияқты дәстүрлі мемлекеттік деректер жиындарына қоса, ашық деректер порталдары қоршаған орта, денсаулық және әлеуметтік

медиа деректерін қоса алғанда, деректер түрлерінің кең ауқымына қол жеткізуді қамтамасыз етуде. Көптеген ашық деректер порталдары пайдаланушыларға деректерден түсінік алуды жеңілдететін жақсартылған деректерді талдау және визуализация құралдарын ұсынады. Форумдар мен хакатондар сияқты мүмкіндіктер арқылы үкімет, бизнес және жұртшылық арасындағы ынтымақтастық пен өзара әрекеттесуді арттырыңыз. Бұл зерттеудің мақсаты әртүрлі ашық бастапқы технологияларды пайдалана отырып, деректерді жинау және визуализациялау процестерін автоматтандыру жолын табу және қоршаған орта деректерін, әсіресе Республиканың Стратегиялық жоспарлау және реформалау агенттігінің су және ластану деректерін пайдалана отырып, Қазақстанның, Ұлттық статистика бюросының ашық деректер порталын ілгерілету.

Түйін сөздер: деректер пакеті, деректер порталы, судың ластану индексі, ашық деректер, csv.

М. М. ЖИЕНБАЕВ, А. Г. ОСПАН, М. Е. МАНСУРОВА

*Искусственный интеллект и Big Data, факультет информационных технологий,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы*

ETL ПРОЦЕСС ДЛЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ: ИНСТРУМЕНТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ОТКРЫТЫМ ИСТОЧНИКОМ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Порталы открытых данных становятся все более популярными в последние годы, поскольку все больше и больше правительств, организаций и предприятий признают преимущества общедоступности данных для исследователей, аналитиков и платформ для принятия решений. Многие правительства запустили свои порталы на национальном, региональном и местном уровнях. В дополнение к традиционным государственным наборам данных, таким как демография, финансы и транспорт, порталы открытых данных все чаще предоставляют доступ к более широкому диапазону типов данных, включая данные об окружающей среде, данные о здоровье и данные социальных сетей. Многие порталы открытых данных предлагают улучшенные инструменты для анализа и визуализации данных, упрощающие пользователям извлечение информации из данных. Расширение сотрудничества и взаимодействия между правительством, предприятиями и общественностью происходит благодаря таким функциям, как форумы и хакатоны. Целью данного исследования является поиск способа автоматизации процессов сбора и визуализации данных с использованием различных технологий с открытым исходным кодом и продвижения Портала открытых данных с использованием данных об окружающей среде, особенно данных о водных ресурсах и загрязнений от Агентства стратегического планирования и реформ Республики Казахстан, Бюро национальной статистики.

Ключевые слова: пакет данных, портал данных, индекс загрязнения воды, открытые данные, csv.

Ю. Р. КРАХМАЛЕВА, Ә. Т. ЖАҚАШ*, Г. К. ДУЙСЕБАЕВА

*М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан
yuna_kr@mail.ru; zhakash58@mai.ru; gulzhankatz@mail.ru*

MAPLE КОМПЬЮТЕРЛІК МАТЕМАТИКА ЖҮЙЕСІНДЕ ЛЯПУНОВ ФУНКЦИЯСЫН ҚҰРУ

Компьютерлік математиканың дамуының қазіргі кезеңінде басты құрал - компьютерлік математика жүйелері болып табылады. Осы бағыттың қарқынды дамуы математикалық зерттеулер жүргізу мен математикалық есептерді шешудің жаңа мүмкіндіктерін ашады. Мақалада Maple ортасында дифференциалдық теңдеулердің сызықты жүйесінің тұрақтылығын Ляпунов функциясы әдісімен зерттеудің математикалық автоматты бағдарламасының құрылу әдісі сипатталады, өз алдына оның уақыт үнемділігі мен дәл нәтиже беретін артықшылықтары бар.

***Түйін сөздер:** орнықтылық, матрицаның меншікті мәндері, оң анықталған функция, теріс анықталған функция, Ляпунов функциясы.*

Кіріспе. Көптеген шынайы динамикалық объектілер дифференциалдық теңдеулер жүйесінің терминдерімен сипатталуы мүмкін: ең алдымен – ол табиғаты әртүрлі механикалық жүйелер. Сондықтан орнықтылық теориясында зерттеу объектісі қарапайым дифференциалдық теңдеулер болып табылады. Орнықтылық теориясының негізгі міндеті, берілген дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімін таппай тұрып, берілген шешімнің тұрақтылығы жайында талдау жасауға болатын әдістерді ойлап табу болып табылады.

Орнықтылық теориясының дамуы екі жолмен іске асады: біріншіден, есептердің түрлерінің шеңберін көбейту, екіншіден, бар әдістерді күшейту және жаңа әдістерді құру. Ляпунов функциясының әдісі (Ляпуновтың тік әдісі немесе екінші әдісі ретінде танымал) орнықтылықты зерттеудің тиімді әдістерінің бірі болып табылады, сонымен ол басқару теориясында кең қолданысқа ие болды. Оның мәні зерттеліп жатқан жүйенің орнықты немесе орнықты емес екендігімен шектелмейді. Белгілі бір жүйе үшін сәтті құрылған Ляпунов функциясы, қолданбалы мағынасы бар, реттелетін шаманың өзгеріс бағалауы, реттеудің уақыт бағалауы, реттеу сапасын бағалау, тартымдылық аймағын бағалау (уақыт бойынша жойылатын барлық бастапқы күйзелістердің жиынтығы), тұрақты толқулардың әсерін бағалау және т.б. бірнеше мәселелердің кешенін шешуге мүмкіндік береді. [1]

Ляпунов функциялары уақытқа байланысты берілген аймақтан аспайтын бастапқы толқулардың аймағын бағалауға мүмкіндік береді. Ляпунов функциясы арқылы периодты шешімдердің бар болуы немесе жоқтығының мәселесі шешіледі, қарапайым дифференциалдық теңдеулердің сызықты емес жүйелерінің барлық шешімдерінің шектеулі немесе шектелмегендігі анықталады. [2]

Осы орайда, Ляпунов функциясының кең қолданысқа ие болуына байланысты, бұл әдістің әмбебаптылығы жайында мәселе көтерілді. Бұл есепті шешумен Я.П. Персидский, Н.Н. Красовский, Е.А. Барбашин, Я. Курцвейль, Ж.Л. Массера және т.б.

* E-mail корреспондирующего автора: zhakash58@mai.ru

математиктер айналысты. Орнықтылық теориясында осы әдістің көмегімен көптеген есептерді шығаруға болатыны анықталды. Сондықтан Ляпунов функциясын құрудың әдістері жайлы мәселе қойылды. Айта кететін жайт, жеткілікті тұрақтылық шарттарын алу үшін әзірленген Ляпунов функцияларын құрудың белгілі әдістері жеткілікті тиімді емес, өйткені олардың әрқайсысы нақты жүйелерді зерттеуге бейімделген. [1]

Негізгі бөлім. Орнықтылық теориясынан дифференциалдық теңдеулердің сызықтық жүйесін Ляпунов функциясымен шешудің тәсілі белгілі:

$$\frac{dx}{dt} = A(t) \cdot x, \quad (1)$$

мұндағы $A(t) \in C([0, +\infty))$. (1)-жүйенің нөлдік шешімінің асимптотикалық тұрақтылығы жағдайында: A матрицасының меншікті мәндері сол жақ комплекстік жарты жазықтықта жатады. [3]

Белгілі болғандай, A матрицасының меншікті мәндері қарапайым болса, онда меншікті векторлардың санына меншікті мәндерінің еселігі сәйкес келеді. P ерекше емес түрлендіру болсын, ол A матрицасының меншікті мәндерінен тұрады. Егер меншікті мәндер комплекс түйіндес болса, онда P ерекше емес түрлендіруі комплекс түйіндес меншікті векторларының бірінің нақты және жорамал бөліктерінен тұрады. Бұл жағдайда матрица

$$J = P^{-1}AP, \quad (2)$$

1) бас диагональда орналасқан нақты меншікті мәндері бар диагональдік түрге немесе 2) комплекс меншікті мәндері үшін $\alpha \pm \beta i$ 2×2 түрдегі блоктік-диагональдік түрге ие болады:

$$\begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{pmatrix}.$$

(1)- де $x = P \cdot z$ алмастыруын жасайық, сонда жаңа айнымалылар үшін:

$$\dot{z} = J \cdot z, \quad (3)$$

болады, мұндағы J – матрицасының жордан формасы. (3) есебі үшін Ляпунов функциясын құру тривиалды болады, себебі

$$V(z) = z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_n^2 = (z, z),$$

сол жүйені тұрақтылыққа зерттеуге лайық екені анық. $\dot{V}(z)$ туындысы (3)-жүйенің әсерінен мынандай түрде болады:

$$\dot{V}(z) = 2z_1 \cdot \dot{z}_1 + 2z_2 \cdot \dot{z}_2 + \dots + 2z_n \cdot \dot{z}_n = 2 \sum_{j=1}^n \operatorname{Re}(\lambda_j) \cdot z_j^2.$$

$\dot{V}(z)$ – теріс анықталған, себебі A матрицасының меншікті мәндерінің нақты бөліктері теріс. [3]

Алғашқы айнымалыларға көшу арқылы (1) - жүйе үшін Ляпунов функциясын аламыз [4]:

$$V(x) = (P^{-1}x, P^{-1}x). \quad (4)$$

Сипатталған әдіске сәйкес, дифференциалдық теңдеулердің асимптотикалық тұрақты сызықтық жүйесі үшін Ляпунов функциясын құрайық:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} -4 & -2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} \cdot x$$

Жүйенің берілгендерін енгізіп және сызықтық алгебра мен дифференциалдық теңдеулердің арнайы пакеттерін қосамыз [5]:

```
restart;
with(linalg);
with(PDEtools);
a11 := -4; a12 := -2; a21 := 3; a22 := 1;
A := matrix(2, 2, [a11, a12, a21, a22]);
X := matrix(2, 1, [x1(t), x2(t)]);
sys1 := matrix(2, 1, [diff(x1(t), t), diff(x2(t), t)]) = multiply(A, X);
```

$$A := \begin{bmatrix} -4 & -2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{sys1} := \begin{bmatrix} \frac{d}{dt} x1(t) \\ \frac{d}{dt} x2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4x1(t) - 2x2(t) \\ 3x1(t) + x2(t) \end{bmatrix}$$

А матрицасының характеристикалық көпмүшесін құрамыз және меншікті мәндері мен оларға сәйкес меншікті векторларын табамыз [5]:

```
a1 := charpoly(A, lambda); a2 := eigenvectors(A);
```

$$a1 := \lambda^2 + 3\lambda + 2$$

$$a2 := \left[-1, 1, \left\{ \left[1, \frac{-3}{2} \right] \right\} \right], \left[-2, 1, \left\{ [-1, 1] \right\} \right]$$

$a2$ бірінші үштігі үшін матрицаның меншікті векторын бөліп алып, P түрлендірулер матрицасы үшін $V1 : V11, V12$ векторының құраушысы болатын элементтерді өрнектейік. Ляпунов функциясын құру комплекс меншікті мәндер үшін де қарастырылатынын ескерсек, онда $V1$ меншікті векторының құраушылары нақты және жорамал бөліктерін бөліп алу керек [5]:

```
a3 := a2[1]; lam1 := a3[1]; rlam1 := Re(lam1); ilam1 := Im(lam1); k1 := a3[2]; v1 := a3[3];
V1 := v1[1]; V11 := V1[1]; V12 := V1[2]; V1m := matrix(2, 1, [V11, V12]);
rV11 := Re(V11); iV11 := Im(V11); rV12 := Re(V12); iV12 := Im(V12);
```

$$a3 := \left[-1, 1, \left\{ \left[1 - \frac{3}{2} \right] \right\} \right]$$

$$lam1 := -1$$

$$rlam1 := -1$$

$$ilam1 := 0$$

$$k1 := 1$$

$$v1 := \left\{ \left[1 - \frac{3}{2} \right] \right\}$$

$$V1 := \left[1 - \frac{3}{2} \right]$$

$$V11 := 1$$

$$V12 := -\frac{3}{2}$$

$$V1m := - \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{3}{2} \end{bmatrix}$$

$$rV11 := 1$$

$$iV11 := 0$$

$$rV12 := -\frac{3}{2}$$

$$iV12 := 0$$

а2 екінші үштігі үшін де дәл солай [5]:

$$a4 := a2[2]; lam2 := a4[1]; rlam1 := \text{Re}(lam1); ilam2 := \text{Im}(lam2); k2 := a4[2]; v2 := a4[3];$$

$$V2 := v2[1]; V21 := V2[1]; V22 := V2[2]; V2m := \text{matrix}(2, 1, [V21, V22]);$$

$$rV21 := \text{Re}(V21); iV21 := \text{Im}(V21); rV22 := \text{Re}(V22); iV22 := \text{Im}(V22);$$

$$a4 := \left[-2, 1, \left\{ \left[-1 \ 1 \right] \right\} \right]$$

$$lam2 := -2$$

$$rlam1 := -1$$

$$ilam2 := 0$$

$$k2 := 1$$

$$v2 := \left\{ \left[-1 \ 1 \right] \right\}$$

$$V2 := \left[-1 \ 1 \right]$$

$$V21 := -1$$

$$\begin{aligned}
 V22 &:= 1 \\
 V2m &:= \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \\
 rV21 &:= -1 \\
 iV21 &:= 0 \\
 rV22 &:= 1 \\
 iV22 &:= 0
 \end{aligned}$$

Циклда біздің жағдай үшін Ляпунов функциясын құрамыз (матрицаның қарапайым меншікті мәндері). Мұнда жүйе матрицасының меншікті векторларын құрайтын нөлдік жорамал бөліктерінің шарты жазылады, осылайша тек нақты меншікті мәндердің жағдайы қарастырылады. Сонда P түрлендіру матрицасының бағандары бастапқы матрицаның меншікті векторлары болып табылады. [6]

Біз OP кері матрицаны тауып, X матрицаға көбейтеміз. Алынған OPX матрицасын транспонерлеп, $OPXT$ матрицасын аламыз. $OPXT$ және OPX матрицаларын көбейту нәтижесінде біз Ляпунов функциясын аламыз [5]:

```

if  $iV11 = 0$  and  $iV12 = 0$  and  $iV21 = 0$  and  $iV22 = 0$  then  $P := \text{matrix}(2, 2, [V11, V21, V12,$ 
   $V22]);$ 
 $OP := \text{inverse}(P);$ 
 $OPX := \text{multiply}(OP, X);$ 
 $OPXT := \text{transpose}(OPX);$ 
 $FL1 := \text{multiply}(OPXT, OPX);$ 
 $FL := FL1[1, 1];$ 
fi;

```

$$\begin{aligned}
 P &:= \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -\frac{3}{2} & 1 \end{bmatrix} \\
 OP &:= \begin{bmatrix} -2 & -2 \\ -3 & -2 \end{bmatrix} \\
 OPX &:= \begin{bmatrix} -2x1(t) - 2x2(t) \\ -3x1(t) - 2x2(t) \end{bmatrix} \\
 OPXT &:= [-2x1(t) - 2x2(t) - 3x1(t) - 2x2(t)] \\
 FL1 &:= \left[(-2x1(t) - 2x2(t))^2 + (-3x1(t) - 2x2(t))^2 \right] \\
 FL &:= (-2x1(t) - 2x2(t))^2 + (-3x1(t) - 2x2(t))^2
 \end{aligned}$$

Көріп отырғанымыздай, Ляпунов функциясы мына түрде болады:

$$FL = (-2x_1 - 2x_2)^2 + (-3x_1 - 2x_2)^2 .$$

Матрицаның меншікті мәндері комплекс сандар болған жағдайды қарастырайық:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ -2 & -1 \end{pmatrix} \cdot x .$$

Жоғарыда баяндалғандай, берілгендерді бағдарламаның басында енгіземіз:

```
a11 := -1; a12 := 2; a21 := -2; a22 := -1;
A := matrix(2, 2, [a11, a12, a21, a22]);
X := matrix(2, 1, [x1(t), x2(t)]);
sys1 := matrix(2, 1, [diff(x1(t), t), diff(x2(t), t)]) = multiply(A, X);
a1 := charpoly(A, lambda);
a2 := eigenvectors(A);
```

$$A := \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ -2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\text{sys1} := \begin{bmatrix} \frac{d}{dt} x_1(t) \\ \frac{d}{dt} x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_1(t) + 2x_2(t) \\ -2x_1(t) - x_2(t) \end{bmatrix}$$

$$a1 := \lambda^2 + 2\lambda + 5$$

$$a2 := [-1 + 2I, 1, \{[1 \quad I]\}], [-1 - 2I, 1, \{[1 \quad -I]\}]$$

Бағдарламаға матрицаның комплекс меншікті мәндері үшін Ляпунов функциясын құру циклін енгіземіз. Ол үшін циклде біз күрделі меншікті мәндердің нөлден өзгеше жорамал бөліктерінің шартын белгілейміз. Сонда P түрлендірулер матрицасы $V1$ меншікті векторының құраушылары нақты және жорамал бөліктерінен құралады. [7,8] Ляпунов функциясының келесі құрылуы қарапайым меншікті мәндер циклінің алгоритмі бойынша іске асады:

```
if ilam1 ≠ 0 and ilam2 ≠ 0 then P := matrix(2, 2, [rV11, iV11, rV12, iV12]);
OP := inverse(P);
OPX := multiply(OP, X);
OPXT := transpose(OPX);
FL1 := multiply(OPXT, OPX);
FL := FL1[1, 1];
fi;
```

$$P := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$OP := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 OPX &:= \begin{bmatrix} x1(t) \\ x2(t) \end{bmatrix} \\
 OPXT &:= [x1(t) \quad x2(t)] \\
 FL1 &:= [x1(t)^2 + x2(t)^2] \\
 FL &:= x1(t)^2 + x2(t)^2
 \end{aligned}$$

Циклдің іске асуының нәтижесінде

$$FL = (x_1)^2 + (x_2)^2$$

Ляпунов функциясын аламыз.

Бұл цикл матрицаның меншікті мәндері нөлдік нақты бөлігі бар комплекс сандар болған жағдай үшін де қолданылады. Осылайша, мысалы, Ляпунов функциясын сызықты дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін құрайық [9]:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} -1 & -2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot x$$

Бағдарламаның жұмысына сәйкес:

$$\begin{aligned}
 a1 &:= \lambda^2 + 1 \\
 a2 &:= [I, 1, \{[-1 + I \ 1]\}], [-I, 1, \{[-1 - I \ 1]\}] \\
 P &:= \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\
 OP &:= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 OPX &:= \begin{bmatrix} x2(t) \\ x1(t) + x2(t) \end{bmatrix} \\
 OPXT &:= [x2(t) \quad x1(t) + x2(t)] \\
 FL1 &:= [x2(t)^2 + (x1(t) + x2(t))^2] \\
 FL &:= x2(t)^2 + (x1(t) + x2(t))^2
 \end{aligned}$$

Ляпунов функциясы мына түрде болады:

$$FL = (x_2)^2 + (x_1 + x_2)^2$$

Барлық командаларды бір топқа жинай отырып, жүйенің матрицасының әр түрлі меншікті мәндері бар дифференциалдық теңдеулердің сызықтық жүйелері

үшін Ляпунов функциясын құрудың автоматтандырылған бағдарламасын аламыз.

Қорытынды. Қазіргі заманғы интерактивті жүйелердің дамуы математикалық есептерді тиімді әдіспен шешудің жолдарын қарастыруға түрткі болды. Компьютерлік математика жүйелерінде есептердің шешімін табу неғұрлым тиімді екенін ескере отырып (Maple, Mathematics, MATLAB, MatCad, т.б.), дифференциалдық теңдеулер жүйесінің орнықтылығын Ляпунов функциясы арқылы зерттеу әдісі рационалды әдістердің бірі екеніне көз жеткізуге болады. Ляпунов функциясының әртүрлі қолданбалы есептерді шешуде пайдалануға болатынын ескере отырып, бағдарламаның пайдалану аясы кең екенін нақты айтуға болады. [10]

ӘДЕБИЕТ

- 1 Понтрягин Л.С. Дифференциальные уравнения и их приложения – М.: Едиториал УРСС, 2018. – 208с.
- 2 В. Д. Горяченко. Элементы теории колебаний. – М.: Высшая школа, 2001. – 395 с.
- 3 Звездочкин В.А. Дифференциальные уравнения и устойчивость. – СПб: Лань.2015. – 320с.
- 4 Трикоми Ф. Дифференциальные уравнения. Пер.с англ. – М.: Едиториал УРСС, 2010. – 352с.
- 5 Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/4 в математических расчетах – М.: ДМК Пресс, 2014. – 800с.
- 6 Жабко А.П. Дифференциальные уравнения и устойчивость: Учебник. / А.П. Жабко, Е.Д. Котина и др. – СПб.: Лань, 2015. - 320 с.
- 7 Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения – М. : МЦНМО, 2012. – 344с.
- 8 Эльсгольц Л.Э., Дифференциальные уравнения – М.: ЛКИ, 2014. – 312с.
- 9 Треногин В.А. Обыкновенные дифференциальные уравнения – М.: Физматлит, 2009. – 312 с.
- 10 А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. Теория колебаний. – М.: Наука, 1981.– 916 с.

REFERENCES

- 1 Pontryagin L.S. Differential'nye uravneniya i ih prilozheniya – М.: Editorial URSS, 2018. – 208s.
- 2 V. D. Goryachenko. Elementy teorii kolebanij. – М.: Vysshaya shkola, 2001.– 395 s.
- 3 Zvezdochkin V.A. Differential'nye uravneniya i ustojchivost'. – Spb: Lan'.2015. – 320s.
- 4 Triкоми F. Differential'nye uravneniya. Per.s angl. – М.: Editorial URSS, 2010.– 352s.
- 5 D'yakonov V.P. Maple 10/11/12/13/4 v matematicheskikh raschetah – М.: DMK Press, 2014. – 800s.
- 6 ZHabko, A.P. Differential'nye uravneniya i ustojchivost': Uchebnik. / A.P. ZHabko, E.D. Kotina i dr. – SPb.: Lan', 2015. - 320 c.
- 7 Arnol'd V.I. Obyknovennye differencial'nye uravneniya – М. : MCNMO, 2012. – 344s.
- 8 El'sgol'c L.E., Differential'nye uravneniya – М.: LKI, 2014. – 312s.
- 9 Trenogin V.A. Obyknovennye differencial'nye uravneniya – М.: Fizmatlit, 2009. – 312 s.
- 10 A. A. Andronov, A. A. Vitt, S. E. Hajkin. Teoriya kolebanij. – М.: Nauka, 1981.– 916 s.

Ю. Р. КРАХМАЛЕВА, А. Т. ЖАКАШ, Г. К. ДУЙСЕБАЕВА

*Таразский региональный университет имени М.Х.Дулати,
Тараз, Казахстан*

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ MAPLE

Главным инструментом компьютерной математики на современном этапе являются системы компьютерной математики. Динамичное развитие данного направления открывает новые возможности для математических исследований и решения математических задач. В статье описывается разработка математической автоматизированной программы исследования устойчивости линейной системы дифференциальных уравнений методом функций Ляпунова в системе компьютерной математики Maple, которая обладает такими достоинствами, как минимизация времени решения, достоверный результат, автоматизация решения.

Ключевые слова: *устойчивость, собственные числа матрицы, положительно определенная функция, отрицательно определенная функция, функция Ляпунова.*

Y. R. KRAKHMALOVA, A. T. ZHAKASH, G. K. DUISEBAYEVA

*Taraz regional university named after M.Kh.Dulaty,
Taraz, Kazakhstan*

CONSTRUCTION OF THE LYAPUNOV FUNCTION IN THE MAPLE COMPUTER MATHEMATICS SYSTEM

The computer mathematics main tool at the present stage are computer mathematics systems. The dynamic development of this direction opens up new opportunities for mathematical research and solving mathematical problems. The article describes the mathematical development automated program for studying the stability of a differential equations linear system by the Lyapunov function method in the Maple computer mathematics system, which has such advantages as minimizing the solution time, reliable result, automation of the solution.

Key words: *stability, matrix eigenvalues, positive definite function, negative definite function, Lyapunov function.*

**С. Т. МАМБЕТОВ^{1*}, Е. Е. БЕГИМБАЕВА^{1,3}, А. К. ХИКМЕТОВ²,
С. К. ДЖОЛДАСБАЕВ²**

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Халықаралық Ақпараттық Технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

³Қ. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Алматы, Қазақстан

e-mail: mambetov.saken@gmail.com, enlik89@mail.ru, akhikmetov@iitu.edu.kz,
serikdzoldasbaev@gmail.com

ТАҚЫРЫПТЫҚ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСТАРДАН ДЕРЕКТЕРДІ АЛУ АЛГОРИТМІН ӨЗІРЛЕУ

Ғаламтор желісі қарқынды дамуымен қазіргі таңда көптеген әлеуметтік арналарда пайдаланушылар өзіне қатысты жеке деректермен, басқа да ақпараттармен белсенді түрде бөлісуде. Желідегі ақпарат сенімді және қоғамға қауіп төндірмейтініне көз жеткізу үшін оны талдау қажет. Осының негізінде бұл ақпаратты жинау, бақылау және талдау қажеттілігі туындайды. Ақпаратты жинау әрбір веб-беттің құрылымына байланысты күрделі жұмыс болып табылады. Барлық ресурстар ақпарат жинауға мүмкіндік бермейтіндіктен, көптеген әдістерді қолдануға тура келеді.

Ұсынылған мақалада ақпараттарды алу үшін парсингті қолданудың тиімді жолдары көрсетіледі. Веб-беттердің мазмұнын семантикалық талдау (парсинг) арқылы әдісін Python тілінде BeautifulSoup кітапханасы базасында жазылған бағдарлама арқылы түсіндірілген. Сонымен қатар, ақпаратты жинаудың басқа да API арқылы, браузерде пайдаланушының мінез-құлқын эмуляциялау құралдары арқылы әдістеріне тоқталады. BeautifulSoup + Requests кітапханасы арқылы тақарыптық интернет ресурстардан ақпараттарды алу алгоритмі келтірілген. Нәтижесінде ағылшын тілді және орыс тілді хакерлік және кардерлік форумдардан мәліметтер алынды.

Түйін сөздер: beautifulsoup, requests, деректермен жұмыс, парсинг, python, хакерлік форумдар.

Кіріспе. Қазіргі таңда ақпараттандыру заманы болғандықтан, ақпараттың жаңаруына көз ілестіру мүмкін емес. Соған қоса, ақпарат барған сайын құнды бола түсуде. Осыдан бірнеше ондаған жылдан алдын ғаламтор шағын ғана желі болған. Бірақ бүгінгі таңда бұл үлкен ақпараттық құрылым, онда таралатын ақпарат ағындарын бақылау мүмкін емес болып барады. Ғаламтор желісін қолданушылардың бөлісетін ақпаратты дәл өлшемін айтуға мүмкіндік жоқ. Оған мысалы ретінде әйгілі әлеуметтік желілерден 1 минут ішінде түсетін хабарламаларды келтіруге болады. Facebook әлеуметтік желісінде 3 миллионнан [1] астам жаңа хабарламалар, Twitter-де 300 мыңнан [2] астам твиттер таратылады. Бұл ақпараттың барлығын әртүрлі ұйымдар өз қызметінің тиімділігін арттыру үшін белсенді түрде пайдаланады. Осы ақпаратпен тиімді жұмыс істеу, одан пайда алу және әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін бұл деректерді алу, өңдеу және құрылымдау қажет. Ақпараттарды дәстүрлі әдіспен жинау көп уақыт пен адами факторға байланысты. Егер де барлық сайттар қандай да бір бірыңғай стандартқа сәйкес жасалса ғаламтор желісінен ақпарат жинау қиындық тудырмас еді. Бірақ, өкінішке орай, қазіргі уақытта мұндай стандарттар жоқ. Бұл өз кезегінде ақпаратты алу мен өңдеудің техникалық тәсілдерінің белсенді да-

* E-mail корреспондирующего автора: mambetov.saken@gmail.com

муына ықпал етеді. Қазіргі уақытта мұндай тәсілдер, ғаламтор желісінен деректерді жинауды және автоматтандырылған өңдеу, “парсинг” деп аталады [3].

Парсинг қазіргі кез-келген салада экономика, маркетинг, психология, криминалистика кеңінен қолданылуда. Барлық салалардан ақпараттарды жинап, өңдеу арқылы болжам жасауға көмектеседі. Тақырыптық интернет ресурстар ретінде интернет форумдар алынды. Хакерлік интернет форумдарда қосылу үшін арнайы TOR браузері пайдаланылды.

Қазіргі кезде тегін және ақылы парсер көптеп кездеседі. Дегенмен ондай парсерлер нақты бір тапсырмаға негізделмеген. Парсердің десктоптық және бұлттық түрлері кезігеді.

Айырмашылығы біріншісін жұмыс компьютеріне орнату арқылы, екіншісінде ештеңе орнатудың қажеті жоқ, тек нәтижесі дайын болған кезде жүктеп алуында. Сондықтан өзіндік тапсырмаға байланысты парсерлік алгоритм жазу өзекті болып табылады. Аталмыш алгоритм қажетті деректерді жинауға және өңдеуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттерге шолу. Мақалада [4] Python бағдарламалау тілінде жұмыс жасайтын қазіргі талдау құралдары, BeautifulSoup кітапханасы, Scrapy фреймворкі және Selenium тестін автоматтандыруға арналған құралдар жиынтығы туралы ақпарат берілген. Соған қоса веб-талдау процесін толыққанды көрсететін UML диаграммалары, атап айтқанда ғаламтор желісінен мәтінді іздеу мен шығару моделі Activity және Use-case диаграммалары түрінде көрсетілген.

Бұл мақалада [5] интернеттен деректерді алудың қазіргі жай-күйіне және оның осы технологияларды практикалық қолданумен байланысына қысқаша шолу жасалынған. Бұл [6] мақалада тек веб-сайттың визуалды көрінісіне негізделген веб-беттерді тазарту тәсілі ұсынылады. Мұнда құжаттың орналасуын талдау және таңбаларды оптикалық тану (OCR) саласындағы қолданыстағы тәсілдер ескеріледі. Ақпаратты алу техникасына, яғни веб-парақтарды талдауға, веб-парақтарды талдаудың әртүрлі әдістеріне және веб-парақтарды талдау үшін қолданылатын кейбір соңғы құралдарға шолу жасауға бағытталған.

Бұл мақалада [7] авторлар ақпараттық жүйенің қауіптері мен осалдықтарын мониторинг жүргізу мақсатында ғаламтор желісінде жолығатын ақпараттарды жинақтап, соны өңдеу қажеттілігін көрсеткен. Соған қоса талдау бағдарламасының әрекет алгоритмі келтірілген.

Келесі авторлар [8] веб-форумдардан құрылымдық деректерді алуға арналған *vig4med* Scrapy әмбебап ашық бастапқы кодты фреймворкты ұсынады. Бұл фреймворк конфигурация файлы пайдалану арқылы, пайдаланушының кез-келген веб-форумнан шығару үшін деректерді еркін таңдай алады және де оңай реттеледі. Алынған деректер анонимді болып табылады және Resource Description framework (RDF) бағандарын қолдана отырып, семантикалық құрылымда ұсынылады.

Аталмыш мақалада [9] әлеуметтік желілерде келтіретін деректерді талдауға негізделген қазіргі тағдағы ең өзекті заманауи ақпараттық жүйелердің 14 түріне қысқаша шолу жасалынып, Қазақстандағы жастар арасындағы танымал, нақты уақыттағы кілт сөздер арқылы деректер жинауға мүмкіндік беретін StreamingAPI құралы бар Вконтакте желісі таңдалып алынған.

Мұнда [10] жоғарыдағы авторлар секілді веб-парақтарды талдаудың әртүрлі аспектілеріне тоқталады және авторлар веб-парақтарды талдауға арналған әртүрлі бағдарламалар мен құралдарды қысқаша сипаттайды. Сондай-ақ веб-парақтарды талдау процесін әртүрлі әдістерін әзірлеу арқылы түсіндіреді және веб-парақтарды талдаудың артықшылықтары мен кемшіліктеріне тоқталып, оны қолдануға болатын әртүрлі салалардың егжей-тегжейлі сипаттамасы келтіріледі.

Бұл жұмыста [11] dark web форумдарының мазмұнын жинауға арналған жаңа сканерлеу жүйесін ұсынады. Ұсынылған жүйеге тоқталсақ, dark web форумдарына қол жеткізу үшін адамның қол жетімділік тәсілін қолданады. URL мекенжайларын ұйымдастырудың бірнеше мүмкіндіктері мен әдістері форум хабарламаларын тиімді шығаруға мүмкіндік береді. Жүйе сонымен қатар кеңейтілген іздеу мен жиналған мазмұнды жаңартуды жеңілдетуге арналған еске түсіруді жақсарту механизмімен біріктірілген қосымша іздеу роботын қамтиды. Адамның қол жетімділік тәсілінің тиімділігін бағалау үшін жүргізілген эксперименттер және кері қайтарып алу мен жақсартуға негізделген біртіндеп жаңарту процедурасы оң нәтиже берді. Адамға қатысты тәсіл Darknet форумдарына қол жетімділікті едәуір жақсартты, ал еске түсіруді жақсартатын қосымша сканер мерзімді және қосымша жаңартудың стандартты тәсілдерінен асып түсті. Жүйенің көмегімен жалпы алғанда үш аймақтан 100-ден астам dark web форумдарын хаттарын жиналды.

Бұл жұмыста [12] киберқауіпсіздік мақсатында Darknet желісінен ақпарат жинауға қатысты мәселелер талданады. Ақпаратты жинауды және құрылымдалмаған деректердің үлкен көлемін талдауды жеңілдету үшін, Dark Web қызметтерін бақылайтын және жиналған деректерді бір аналитикалық құрылымға біріктіретін BlackWidow - жоғары автоматтандырылған модульдік жүйесін ұсынады. Black Widow жүйесі бұрыннан бар және теңшелетін машиналық оқыту құралдарын біріктіруге мүмкіндік беретін Docker негізіндегі микросервистік архитектураға сүйенеді. BlackWidow хабарламалардан алынған барлық алынған мәліметтер мен тиісті қатынастарды қауіпсіздікті талдаушы пайдаланушыларға іздеу және интерактивті визуалды зерттеу үшін қол жетімді үлкен график ретінде ұсынады.

Бұл мақалада [13] Quora сайтынан деректер жинау үшін Python API Quoris-ті ұсынады. Аталмыш API ашық бастапқы web-автоматтандырудың кросс-платформалық ортасы Selenium-ге негізделген. Бұл API сайтқа арнайы HTTPS сұрауларын жасау арқылы және одан келген жауаптарды талдау арқылы жұмыс жасайды.

Бұл мақалада [14] киберқылмысты анықтау және бақылау мақсатында интернеттегі әртүрлі көздерден, соның ішінде хакерлік форумдардан деректерді жинау әдістері мен технологиялары сипатталған. Мақалада мәтіндік деректерді талдау және ауытқуларды анықтау әдістері қарастырылады, сонымен қатар практикалық қолдану мысалдары келтірілген.

Интернет-ресурстардан деректерді жинаудың тағы бір тәсілі - API (application programming interface) пайдалану. API-бұл деректерді алу үшін веб-сайтпен немесе веб-қызметпен өзара әрекеттесуге мүмкіндік беретін бағдарламалық интерфейс жиынтығы. Мақалада [15] авторлар веб-скрепинг пен деректерді жинау үшін API қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстырады. Олар

деректерді жинау құны, сапасы және жылдамдығы сияқты әртүрлі аспектілерді талқылайды.

Интернет-ресурстардан деректерді жинаудың тағы бір тәсілі-машиналық оқытуды қолдану. [16] мақалада авторлар машиналық оқытуға негізделген веб-беттерден деректерді жинау шеңберін әзірлеуді сипаттайды. Олар веб-беттердің құрылымын анықтау және беттегі белгілі бір элементтерден деректерді алу үшін машиналық оқыту алгоритмдерін пайдаланады.

Материалдар мен әдістер. Тақырыптық интернет-ресурстардан деректерді алу алгоритмін әзірлеу үшін келесі қадамдарды орындау қажет:

1. Алгоритмнің мақсаты мен міндеттерін анықтаңыз. Мысалы, егер мақсат тақырыптық сайттардан пікірлер жинау болса, онда тапсырмалар келесідей болуы мүмкін:

- Деректерді жинауға арналған тақырыптық сайттардың тізімін анықтау;
- Сайттағы пікірлерді таңдау критерийлерін анықтау (мысалы, күні, айдары, кілт сөздері бойынша);
- Сайттардан деректерді алу әдісін анықтау (мысалы, HTML парақтарын талдау, API пайдалану, RSS арналарын жүктеу)

2. Деректер көздерінің мүмкіндіктері мен шектеулерін зерттеңіз. Мысалы, барлық сайттар ашық API немесе RSS арналарын ұсынбайды, кейбір сайттар тым жиі сұраныстарды бұғаттай алады (Мысалы, IP-мекен-жайға тыйым салу), сонымен қатар кейбір сайттар деректерді автоматты түрде жинаудан қорғау үшін CAPTCHA кодтарын қолдана алады.

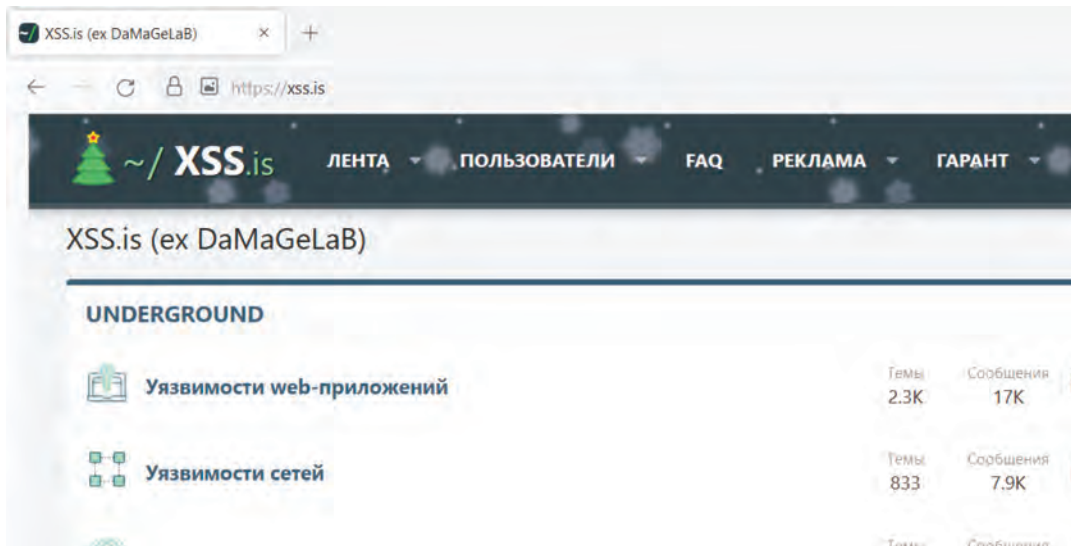
3. Ғаламтор желісіндегі хакерлік форумдардан деректерді жинау алгоритмін жасаңыз. Мысалы, алгоритм келесі қадамдардан тұруы мүмкін:

- Арнайы анонимдікті қамтамасыз ететін бағдарлама арқылы жұмыс жасау;
- Хакерлік форумдар тізімін жасау;
- Форум сайттарын зертеу;
- Тізімдегі әрбір форумнан тақырыптар сілтемелерін алу;
- Берілген критерийлер бойынша пікірлерді іріктеу;
- Пікірлер мәтінін және басқа да қажетті деректерді шығару;
- Алынған деректерді қажетті форматта сақтау.

Алгоритмді тексеріңіз және түзетіңіз. Ол үшін оны әртүрлі тақырыптық сайттарда сынап, оның тиімділігі мен дәлдігін бағалау қажет.

Алгоритмді жұмыс күйінде ұстаңыз. Мысалы, егер деректерді жинау шарттары өзгерсе (мысалы, HTML парағының құрылымы өзгерсе), онда алгоритмге тиісті өзгерістер енгізу қажет. Сондай-ақ, сайттарға сұраныстар белгіленген шектеулерден аспайтынына және IP-мекен-жайдың бұғатталуына әкелмейтініне көз жеткізу керек.

Тақырыптық интернет ресурстар ретінде біз хакерлік және кардерлік интернет форумдарды алдық. Ең алдымен даркнет форумдарына кіру үшін TOR браузерін пайдаландық. TOR браузері онлайн анонимдікті қамтамасыз етіп қана қоймай, браузерге қосылатын құрылғылардың IP-мекенжайлары мен ресурстарын сақтамайды [17]. Сондықтан осы браузерді пайдаландық. Осы браузер пайдалану арқылы біз өзімізді кибершабуылдан қорғауымыз мүмкін.



Сурет 1 – TOR браузерінде xss.is форумының басты парақшасы

Ғаламтор бетін аша қалсаңыз, неше түрлі форумдарға тап боласыз. Бізге керегі хакерлік және кардерлік форумдар. Форумдардың ішінен қазіргі кездегі ең танымал деген бірнешеуін таңдап алдық:

- Probiv.one
- xss.is
- KOROVKA.CC
- Exploit.in
- crdclub.su

Аталмыш форумдардың таңдаудың басты себебі барлығы дерлік тегін интернет форумдар және ішкі құрылымдары бір-біріне ұқсас. Форум сайттары CMS дайын движоктары арқылы жасалынған. Мұндай ұқсастық бізге парсер алгоритмін жазуда жеңілдік береді.

Probiv.one - Бұл форумның басқа форумдардан ерекшелігі – толығымен мәліметті алып беруге бағытталған. Яғни белгілі бір сомаға сізге белгілі бір адам туралы ақпаратты толықтай біле аласыз. Жеке мәліметтер, төлқұжат деректері және несие тарихына дейін алуға болады. Мұнда сіз бірден “табыс сұлбалары” саудасын таба аласыз: адам форум сайты әкімшілігіне ғаламтор желісінде немесе оффлайн режимінде табыс табу нұсқаулығы бар құжатты ұсынады, материалды әкімшілік тексергеннен кейін, ол форумның белгілі бір тармағында жарияланады және пайдаланушыларға сатылады. Мұндай “табыс сұлбалары” үшін бағаның таралуы - бәрі ықтимал пайдаға байланысты, яғни бірнеше мыңнан бірнеше миллионға дейін барады. Тағы да бір артықшылығы Exploit, WWN және Verified сынды форумдарда авторлар ТМД елдерінде жұмыс жасағысы келмейтінін айтса, Probiv-те кересінше ТМД елдерінде жұмыс жасайтын кибералаяқтар арасында танымал.

Exploit.in - Бұл форум негізінен хакерлік тақырыптарға арналған. Аталмыш форумға тіркелу тегін, дегенмен форумға доступ алу үшін, қолданушы сайт

әкімшілігіне басқа да форумдардағы аккаунттарына сілтеме беруге тура келеді. Аккаунт белгілі бір беделге ие және тіркелгеніне кем дегенде бір жылдан асуы керек. Олай болмаса, әкімшілік қолданушыға форумға доступ беруден бас тартады. Exploit.in ТМД елдерінің даркнетінде ғана танымал емес, батыс елдерінен де хакерлер қадағалап отырады. Форумда отыратын негізгі контингент, өз қызметтерін ұсынатын кардерлер, сайт құрудан бастап, ботнет қызметіне дейін ұсыныс тастаушылар болып табылады.

KOROVKA.CC - Бұл форумға тіркелудің екі жолы бар. Біріншісі light санаты, мұнда тіркелу тегін, бірақ сіздің форумдағы мүмкіндіктеріңіз шектеулі болады. Екіншісі member санаты, мұнда форумға тіркелу ақылы, бұл кезде сізде форумның кез-келген бөліміне рұқсат етіледі. Аталмыш санатқа тек құнын төлеп қана тіркеле алмайсыз, соған қоса форумға екі өзекті тақырыпта мақала жазуға тура келеді. Мақалада сіз автор болуыңыз керек, скриндермен әсерленген болуы шарт, және де басқа форумдарда жарияларбаған болуы қажет. Егер мақала көшірме, қайта жазу болғаны анықталса сізді өмір бойы тыйым салынған тізімге қосуы мүмкін. Member санатының өзі үшке бөлінеді: member, old member, premium member. Әр санаттың өзіндік ерекшеліктері бар. Жалпы форумда ақпараттық қауіпсіздік тақырыбында форум қатысушыларының жазған мақалаларына, әртүрлі бағыттағы қызметтер түрлеріне қол жеткізесіз. Форумда тек оң беделі бар адамдар ғана қатыса алады.

xss.is (DaMaGeLaB.IN) - Ағылшын тіліндегі даркнет хакарлік форумдарының арасында xss.is (бұрынғы DaMaGeLaB.IN) танымал болып табылады. Мұнда форум қолданушылары ақпараттық қауіпсіздікке қатысты, хакинг, кодинг, малвари және т.б. тақырыптарды зерттеу және талқылаумен айналысады. Аталмыш форумға тіркелу тегін. Тек форумға кіру үшін алдымен авторизация жасау шарт. Соған қоса форумдағы тақырыптар әр түрлі бөлімдерге бөлініп тұрады.

ctdclub.su - Бұл кардерлер тақырыбына арналған ең көне форумдардың бірі. Тіркелу тегін, барлық бөлімдерге қол жетімді. Форумдағы мақалаларды оқу үшін, сізге міндетті түрде авторизация жасауға тура келеді. Форумның басқа форумдардан ерекшелігі Exploit.in секілді екі үлкен бөлікке бөлуге болады: орыс тілді және ағылшын тілді. Аталмыш форумда тек кардингке ғана емес, сонымен қатар scamға (алаяқтыққа), хакерлікке және әлеуметтік инженерия әдістеріне арналған жүздеген мақалалар бар.

Парсинг жүйесі жалпы үш негізгі бөліктен тұрады. Web-интерфейс, парсинг модулі және экспорт модулінен тұрады. Аталмыш бөліктердің бір-бірімен арақатынасы 2-суретте кескінделген.

Парсинг алгоритмі Python тілі BeautifulSoup4 + Requests кітапхаларында жазылды. Жалпы біздің парсер аталмыш форумдарға сұраулар жіберіп, соның нәтижесінде келген жауаптар бойынша жұмыс жасайды. Мысалы ретінде xss.is Darknet форумы алынды. Форумның сипаттамасы жоғарыда көрсетілген. Алдымен сайтқа авторизация қажет болғандықтан, форумға тіркелген логин және парольді жазып, форумға доступ аламыз. Одан кейін, негізгі беттегі тақырыптарға сұраулар жіберіледі. Бұл сұрауға келген жауапты global_topics.csv файлына жинаймыз. Сәйкесінше келесі әрекеттер де осылай жасалынады. Яғни, сұрау жіберіліп, содан келген жауапты жазу арқылы.

Форумға авторизация жасалынған соң, 1-суретте көрсетілген алғашқы бетке өтеміз. Осы беттегі басты тақырыптардың (жаһандық тақырыптар) URL мекенжайларын 4-суретте көрсетілген `collect_global_topics()` функциясы арқылы жинап, `global_topics.txt` файлына жазамыз.

```
def collect_global_topics():
    # 1. collect global topics url from main page and write to file
    url = SITE_URL
    soup = send_request(url)
    a_href = _get_href_list_by_parent_tag(soup, 'h3', 'node-title')
    print(a_href)
    write_to_file(f'{FOLDER_NAME}/global_topics.txt', a_href)
```

Сурет 4 – Басты беттен жаһандық тақырыптардың URL мекенжайын `global_topics.txt` файлға жинайтын функция

Келесі әрекет бізде жиналынған басты тақырыптар негізінде, әрқайсысының URL мекенжайларына кіріп, `iterate_topics()` функциясы арқылы барлық ішкі тақырыптардың URL мекенжайларын `all_topics.txt` файлына жинап аламыз. `iterate_topics()` функциясы 5-суретте көрсетілген.

```
def iterate_topics():
    # 2. read file with topics and recursevly open inner topics with comments
    with open('xss/global_topics.txt', 'r', encoding='utf-8') as f_read:
        for line in f_read.readlines():
            url = SITE_URL + line
            url = url.replace('\n', '')

            # iterate pages of one topic
            prev_page_content = None
            cur_page_content = ''
            all_pages_content = []
            page = 1
            while prev_page_content != cur_page_content:
                prev_page_content = cur_page_content
                soup = send_request(f'{url}page-{page}')
                cur_page_content = _get_href_list_by_parent_tag(soup, 'div', 'structItem-title')
                all_pages_content = all_pages_content + cur_page_content
                page+=1

            write_to_file(f'xss/all_topics.txt', all_pages_content, 'a+')
```

Сурет 5 – Ішкі тақырыптарды ашып, `all_topics.txt` файлға жинайтын функция

Хабарламаны жинаудың соңғы әрекеті ретінде `all_topics.txt` файлына жиналған URL мекенжайлардың барлығына жеке-жеке кіре отырып, барлық хабарламаларды `get_comments_from_thread()` функциясы арқылы, `all_comments.csv` файлына жазып аламыз. Аталмыш функция 6-суретте келтірілген.

```

def get_comments_from_thread():
    # 3. open each thread and collect comments from them
    with open('xss/all_topics.txt', 'r', encoding='utf-8') as f_read:
        for line in f_read.readlines():
            url = line
            url = url.replace('\n', '')
            url = url.replace('unread','')
            # iterate pages of one topic
            prev_page_content = None
            cur_page_content = []
            all_pages_content = []
            page = 1
            while prev_page_content != cur_page_content:
                url_page = f'{SITE_URL}{url}page-{page}'
                prev_page_content = cur_page_content
                soup = send_request(url_page)
                cur_page_content = get_all_comments_info(soup, 'article', re.compile('^message--post'))
                if prev_page_content == cur_page_content:
                    break
                all_pages_content = all_pages_content + cur_page_content
                page+=1

            write_to_csv('xss/all_comments.csv', all_pages_content, 'a+')

```

Сурет 6 – Ішкі тақырыптарды ашып, барлық хабарламаларды all_comments.csv файлына жинайтын функция

Нәтижесінде осы парсинг алгоритмі кез-келген Darknet форумдарынан хабарламалар жинауға мүмкіндік береді.

Хакерлер және кардерлер форумынан хабарламалар алуға арналған семантикалық белгілердің тізімі 2 өрістен тұрады. Олар: message_info (хабарламалар деректері) және user_info (пайдаланушы деректері). Хабарлама деректеріне: message_text, message_date, thread_name, ал пайдаланушы деректеріне: username_link, username, user_title, user_join_date, user_msg_number, user_reputation, user_reactions жатады. Семантикалық белгілер тізімінің сипаттамасы 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Семантикалық белгілердің тізімі

№	Белгілер	Сипаттамасы
1	message_text	Форумда жазылған хабарлама/пікір
2	message_date	Форумдағы хабарламаның/пікірдің жазылған уақыты
3	thread_name	Форумдағы ішкі тақырыптың аты
4	username_link	Пайдаланушының форумдағы жеке кабинетіне сілтеме
5	username	Пайдаланушының аты
6	user_title	Пайдаланушының никнеймі
7	user_join_date	Пайдаланушының форумға тіркелу уақыты
8	user_msg_number	Пайдаланушының форумдағы хабарламалар саны
9	user_reputation	Пайдаланушының форумдағы басқа да пайдаланушылармен салыстырғандағы беделі
10	user_reactions	Пайдаланушының форумдағы хабарламаға басқа пайдаланушылардың білдірген реакциялар саны

Нәтижелер. Python тілінің BeautifulSoup4 және Requests кітапханаларын пайдаланып парсинг алгоритмі жазылды. Нәтижесінде форумдардан 1500000 - жуық хабарламалар жиналды. Әр форумның көрсеткіштері 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2 – Форумдардан жиналған хабарламалардың көрсеткіштері

№	Форум аты	Сілтемесі	global_topics	all_topics	message_number
1	Probiv	Probiv.one	82	50538	624983
2	XSS	xss.is	47	58170	758211
3	KOROVKA	korovka.cc	32	4890	31111
4	crdclub.su	crdclub.su	19	15308	54129
5	Эксплойт	Exploit.in	8	727	5159

Алынған нәтижелер көмегімен аталмыш форумдардан ақпараттық қауіпсіздіктің қатерлері мен осалдықтарын анықтауға мүмкіндік береді. BeautifulSoup4 және Requests кітапханалары көмегімен кез-келген интернет форумынан статикалық мәліметтер жинауға береді.

Талқылау. Ғаламтор беттеріндегі сайттардан деректер алудың екі әдісі бар, сайт бетінің HTML кодынан деректерді шығару және сайттың API пайдалану. Осы әдістерді салыстырып қарайық.

Кесте 3 – Парсинг әдістерін салыстыру

Парсер әдісі / критерий	HTML код арқылы	API арқылы
Артықшылықтары	бұл әдіс өте қарапайым және әрқашан жұмыс істейді, өйткені сайт бетінің html коды әрқашан пайдаланушыға қол жетімді	HTML код арқылы деректер алуға қарағанда жылдамырақ және html бет құрылымының өзгеруіне байланысты емес
Кемшіліктері	бұл әдіс бірнеше секунд ұзақ уақыт жұмыс істейді	барлық сайттарда ашық API жоқ, әсіресе даркнет сайттары болып саналатын хакерлік форумдарда.
Деректер алу уақыты (тек 1 бетті)	5-6 секунд	0,3-0,4 секунд

HTML код арқылы деректер алу үшін python тілінде BeautifulSoup4 және Scrapy кітапханаларын пайдалануға болады. Біз осы жұмыста BS4 қолдандық.

Қорытынды. Тұтастай алғанда, тақырыптық интернет-ресурстардан деректерді алу алгоритмін жасау өте күрделі міндет болуы мүмкін, ол мұқият жоспарлауды және көптеген қадамдарды орындауды қажет етеді. Дегенмен, дұрыс әзірленген және түзетілген алгоритм әртүрлі көздерден деректерді жинау процесін айтарлықтай жеңілдетеді және автоматтандырады.

Алгоритмді әзірлеу кезінде деректер көздерінің әртүрлі шектеулері мен мүмкіндіктерін ескеру, сондай-ақ жобаның мақсаттары мен міндеттеріне байланысты деректерді жинаудың ең тиімді әдістерін таңдау қажет.

Сонымен қатар, алгоритмді әзірлеу деректерді жинау және талдау жобасының кезеңдерінің бірі ғана екенін түсіну маңызды және сәтті дамығаннан кейін алынған деректерді өңдеу және талдау бойынша жұмысты жалғастыру қажет.

Қорыта келгенде тақырыптық интернет-ресурстардан деректерді алу үшін Python тіліндегі BeautifulSoup4 және Requests кітапханалары арқылы әзірленген алгоритм сипатталды. Зерттеу бес түрлі хакерлік және кардерлік форумдарын деректерді зерттеп, жинады және осы деректерден алынған жалпы ақпарат пен семантикалық мүмкіндіктерді қамтитын кестелерді ұсынды. Сонымен қатар, басқа да ақпаратты іздеу алгоритмдері талқыланып, алдыңғы авторлардың жұмысына шолу жасалды. Болашақта алынған деректерге сезімдік талдау жүргізу және классикалық машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, ақпараттық қауіпсіздік қатерлері мен осалдықтарын анықтау моделін құру жоспарлануда.

ӘДЕБИЕТ

1 Electronic resource [data application: 26/01/2023] <https://wearesocial.com/uk/blog/2022/01/digital-2022-another-year-of-bumper-growth-2/>

2 Electronic resource [data application: 28/01/2023] <https://www.websiterating.com/ru/research/twitter-statistics/>

3 Grune, D., Jacobs, C.J.H. (2008). Introduction. In: Parsing Techniques. Monographs in Computer Science. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68954-8_1

4 Аканова, А., А.А. Макашев, С.А. Наурызбаева, & Н.Н.Оспанова. (2022). Моделирование тематического извлечения данных из интернета. Известия НАН РК. Серия физико-математическая, (3), 5–18. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.137>

5 A. Schulz, J. Lässig and M. Gaedke, “Practical Web Data Extraction: Are We There Yet? - A Short Survey,” 2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI), 2016, pp. 562-567. <https://doi.org/10.1109/WI.2016.0096>.

6 E. C. Dallmeier, “Computer Vision-based Web Scraping for Internet Forums” 2021 7th International Conference on Optimization and Applications (ICOA), Wolfenbüttel, Germany, 2021, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICOA51614.2021.9442634>.

7 Мамбетов С.Т., Бегимбаева Е.Е., Джолдасбаев С.К., Куламбаев Б.О. & Казбекова Г.Н., (2022). О мониторинге угроз и уязвимостей информационной системы. Известия НАН РК. Серия физико-математическая, (4), 68–80. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.157>

8 Audeh B, Beigbeder M, Zimmermann A, Jaillon P, Bousquet C (2017). Vigi4Med Scraper: A Framework for Web Forum Structured Data Extraction and Semantic Representation. PLOS ONE 12(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169658>

9 Бекішев А.Т., Кумаргажанова С.К., Уркумбаева А.М., Танирбергенов А.Ж. Әлеуметтік желілердегі деректерді талдайтын заманауи ақпараттық жүйелерге шолу. «Университет еңбектері – Труды университета», №3 (88), 341-345. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_3_341

10 V. Singrodia, A. Mitra and S. Paul, «A Review on Web Scraping and its Applications,» 2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), Coimbatore, India, 2019, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2019.8821809>

11 Fu, T., Abbasi, A., & Chen, H. (2010). A focused crawler for Dark Web forums. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 61(6), 1213-1231. <https://doi.org/10.1002/asi.21323>

12 M. Schäfer, M. Fuchs, M. Strohmeier, M. Engel, M. Liechti and V. Lenders, “BlackWidow: Monitoring the Dark Web for Cyber Security Information,” 2019 11th International Conference on Cyber Conflict (CyCon), Tallinn, Estonia, 2019, pp. 1-21. <https://doi.org/10.23919/CYCON.2019.8756845>

13 Das, D., & Semaan, B. (2020, October). quoras: A Python API for Quora Data Collection to Increase Multi-Language Social Science Research. In Conference Companion Publication of the 2020 on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing (pp. 251-256).

14 Guo-Jun Qi, Xinyu Xing, Peng Liu, and Dinghao Wu. (2013) “Using Web Mining to Detect and Combat Cybercrime”. IEEE Intelligent Systems journal, Volume 28, Issue 3, on pages 18-25. <https://doi.org/10.1109/MIS.2013.25>

15 Electronic resource [data application: 26/01/2023] <https://www.scrapinghub.com/web-scraping-vs-api-whats-the-difference/>

16 Mohammad Masudur Rahman, Weiwei Sun и Guangyan Huang (2021). Machine Learning-based Web Scraping Framework for data Extraction from Web Pages. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069734>

17 Электронды ресурс [жүгінген күні: 22.02.2023] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Tor>

18 Электронды ресурс [жүгінген күні: 22.02.2023] <https://pypi.org/project/beautifulsoup4/>

19 Электронды ресурс [жүгінген күні: 22.02.2023] <https://pypi.org/project/requests/>

REFERENCES

1 Electronic resource [data application: 26/01/2023] <https://wearesocial.com/uk/blog/2022/01/digital-2022-another-year-of-bumper-growth-2/>

2 Electronic resource [data application: 22/02/2023]: <https://www.websiterating.com/ru/research/twitter-statistics/>

3 Grune, D., Jacobs, C.J.H. (2008). Introduction. In: Parsing Techniques. Monographs in Computer Science. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68954-8_1

4 Akanova A., A.A. Makashev, S.A. Naurzybayeva, & N.N.Ospanova. (2022). MODELIROVANIE TEMATICHESKOGO IZVLECHENIIA DANNYH IZ INTERNETA. Izvestiia NAN RK. Seriiia fiziko-matematicheskaiia, (3), 5–18. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.137>

5 A. Schulz, J. Lässig and M. Gaedke, “Practical Web Data Extraction: Are We There Yet? - A Short Survey,” 2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI), 2016, pp. 562-567. <https://doi.org/10.1109/WI.2016.0096>.

6 E. C. Dallmeier, “Computer Vision-based Web Scraping for Internet Forums” 2021 7th International Conference on Optimization and Applications (ICOA), Wolfenbüttel, Germany, 2021, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICOA51614.2021.9442634>.

7 Mambetov S.T., Begimbayeva Ye.Ye., Joldasbayev S., Kulambayev B.O., & Kazbekova G., (2022). O MONITORINGE UGROZ I UYAZVIMOSTEI INFORMATSIONNOI SISTEMY. Izvestiia NAN RK. Seriiia fiziko-matematicheskaiia, (4), 68–80. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.157>

8 Audeh B, Beigbeder M, Zimmermann A, Jaillon P, Bousquet C (2017). Vigi4Med Scraper: A Framework for Web Forum Structured Data Extraction and Semantic Representation. PLOS ONE 12(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169658>

9 Bekishev A.T., Kýmargajanova S.K., Ýrkýmbaeva A.M., Tanırbergenov A.J. Aleumettik jelilerdegi derekterdi taldayтын zamanauı aqparattyq juıelerge sholu. «Universitet enbekteri – Trudy universiteta», №3 (88), 341-345. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_3_341

10 V. Singrodia, A. Mitra and S. Paul, “A Review on Web Scraping and its Applications,” 2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), Coimbatore, India, 2019, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2019.8821809>

11 Fu, T., Abbasi, A., & Chen, H. (2010). A focused crawler for Dark Web forums. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(6), 1213-1231. <https://doi.org/10.1002/asi.21323>

12 M. Schäfer, M. Fuchs, M. Strohmeier, M. Engel, M. Liechti and V. Lenders, “BlackWidow: Monitoring the Dark Web for Cyber Security Information,” 2019 11th International Conference on Cyber Conflict (CyCon), Tallinn, Estonia, 2019, pp. 1-21. <https://doi.org/10.23919/CYCON.2019.8756845>

13 Das, D., & Semaan, B. (2020, October). quoras: A Python API for Quora Data Collection to Increase Multi-Language Social Science Research. In *Conference Companion Publication of the 2020 on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing* (pp. 251-256).

14 Guo-Jun Qi, Xinyu Xing, Peng Liu, and Dinghao Wu. (2013) “Using Web Mining to Detect and Combat Cybercrime”. *IEEE Intelligent Systems journal*, Volume 28, Issue 3, on pages 18-25. <https://doi.org/10.1109/MIS.2013.25>

15 Electronic resource [data application: 26/01/2023] <https://www.scrapinghub.com/web-scraping-vs-api-whats-the-difference/>

16 Mohammad Masudur Rahman, Weiwei Sun и Guangyan Huang (2021). Machine Learning-based Web Scraping Framework for data Extraction from Web Pages. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069734>

17 Electronic resource [data application: 22/02/2023] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Tor>

18 Electronic resource [data application: 22/02/2023] <https://pypi.org/project/beautifulsoup4/>

19 Electronic resource [data application: 22/02/2023] <https://pypi.org/project/requests/>

**С. Т. МАМБЕТОВ¹, Е. Е. БЕГИМБАЕВА^{1,3}, А. К. ХИКМЕТОВ²,
С. К. ДЖОЛДАСБАЕВ²**

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

³Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.Сатпаева, Алматы, Казахстан

e-mail: mambetov.saken@gmail.com, enlik89@mail.ru, akhikmetov@iitu.edu.kz,
serikdzoldasbaev@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ С ТЕМАТИЧЕСКИХ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ

С бурным развитием Интернета пользователи активно делятся своими личными данными и другой информацией во многих социальных сетях. Информация в Интернете должна быть проанализирована, чтобы убедиться, что она надежна и не представляет угрозы для общественности. Исходя из этого, возникает необходимость сбора, мониторинга и анализа этой информации. Сбор данных — сложная задача, зависящая от структуры каждой веб-страницы. Так как не все ресурсы позволяют собирать информацию, приходится использовать множество методов.

В предлагаемой статье показаны эффективные способы использования синтаксического анализа для получения информации. Объясняется метод семантического анализа (парсинга) содержимого веб-страниц с помощью программы, написанной на языке Python на основе библиотеки BeautifulSoup. Кроме того, основное внимание уделяется методам сбора информации через другие API, с использованием инструментов для эмуляции поведения пользователя в браузере. Представлен алгоритм извлечения ин-

формации из тематических интернет-ресурсов с использованием библиотеки BeautifulSoup + Requests. В результате была получена информация с англо- и русскоязычных хакерских и кардингových форумов.

Ключевые слова: beautifulsoup, requests, работа с данными, парсинг, python, хакерские форумы

**S. MAMBETOV¹, YE. BEGIMBAYEVA^{1,3}, A. KHIKMETOV²,
S. JOLDASBAYEV²**

¹Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²International IT University, Almaty, Kazakhstan

³Kazakh National Research Technical University named after K.Satpayev,
Almaty, Kazakhstan

e-mail: mambetov.saken@gmail.com, enlik89@mail.ru, akhikmetov@iitu.edu.kz,
serikdzoldasbaev@gmail.com

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR OBTAINING DATA FROM THEMATIC INTERNET RESOURCES

With the rapid development of the Internet, users are actively sharing their personal data and other information on many social networks. Information on the Internet should be analyzed to make sure that it is reliable and does not pose a threat to the public. Based on this, there is a need to collect, monitor and analyze this information. Data collection is a complex task, depending on the structure of each web page. Since not all resources allow you to collect information, you have to use many methods.

The proposed article shows effective ways of using syntactic analysis to obtain information. The method of semantic analysis (parsing) of the contents of web pages is explained using a program written in Python based on the BeautifulSoup library. In addition, the focus is on methods of collecting information through other APIs, using tools to emulate user behavior in the browser. An algorithm for extracting information from thematic Internet resources using the BeautifulSoup + Requests library is presented. As a result, information was obtained from English- and Russian-speaking hacker and carding forums.

Key words: beautifulsoup, requests, working with data, parsing, python, hacker forums

Б. РЫСБАЙҰЛЫ*, С. Д. АЛПАР

*Международный университет информационных технологий,
г. Алматы, Казахстан*

e-mail: b.rysbaiuly@mail.ru, rapla.natlus@gmail.com

НЕЛИНЕЙНАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА НАХОЖДЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В данной работе разработан метод определения нелинейных теплопроводных характеристик грунта. Были созданы двухслойные комплексы контейнеров, боковые грани которых теплоизолированы, поэтому используется уравнение теплопроводности 1D. Датчик температуры помещается на стыке двух сред и в каждой области решается смешанная краевая задача. Для того чтобы обеспечить задачу с обратным коэффициентом исходными данными, используются два датчика температуры: один датчик был размещен на открытой границе контейнера и регистрировал температуру почвы на этой границе, а второй датчик был размещен на небольшом расстоянии от границы, который регистрировал температуру воздуха. Измерения проводились в интервале времени $(0, 4t_{max})$. Сначала начально-краевая задача теплопроводности с нелинейными коэффициентами исследуется методом конечных разностей. Построены два типа разностных схем: линеаризованные и нелинейные. Линеаризованная разностная схема реализуется численно скалярным методом Томаса, а нелинейная разностная задача решается методом Ньютона. В качестве начального приближения метода Ньютона было взято решение линеаризованной разностной задачи. Чтобы найти теплофизические параметры, соответствующий функционал минимизируется с использованием метода градиентного спуска. Кроме того, все теплофизические характеристики (8 коэффициентов) были найдены для двухслойного контейнера с песком и черноземом.

***Ключевые слова:** теплопроводность, нелинейность, разностная задача, сходимость, обратная задача, дифференцирование по параметру.*

Введение. Определение параметров систем тепловой защиты и получение решения задачи теплового проектирования напрямую связаны с расчетом тепловых полей в грунте. В свою очередь, это требует знания теплофизических характеристик почвы [1]. Оптимизация и анализ тепловых и влажностных характеристик строительных компонентов является важным инженерным инструментом [2]. В настоящее время теоретические модели для определения теплофизических характеристик неоднородных композитных сред не обладают достаточной точностью. Следовательно, основным источником информации о теплофизических свойствах является проведение физического эксперимента [4]. Для теоретической основы метода нахождения теплофизических характеристик среды используется закон сохранения энергии, следствием которого является нелинейное дифференциальное уравнение теплопроводности [1, 5, 6, 7]. Установлено, что характер влияния температуры на теплофизические параметры почвы является нелинейным [8, 9, 10]. В связи с этим возникает острая необходимость решения обратной задачи нелинейного уравнения теплопроводности.

Целью исследования является проведение теплофизического эксперимента и разработка методического обеспечения определения теплофизических коэф-

* E-mail корреспондирующего автора: b.rysbaiuly@mail.ru

фициентов на основе решения нелинейной обратной задачи теплопроводности [5, 11, 12, 13]. Физико-математическая модель и экспериментальные значения температуры на доступной границе грунта позволяют находить теплофизические характеристики в обратных коэффициентных задачах теплопередачи [14]. В данном исследовании на основе нелинейного уравнения теплопроводности и экспериментальных данных предложен метод решения обратной нелинейной коэффициентной задачи, в основе которого лежит минимизация квадратичного функционала расхождения между численными и экспериментальными значениями температуры. Функционал минимизируется методом градиентного спуска, а для определения коэффициента демпфирования используется метод самого крутого спуска.

Математическая модель.

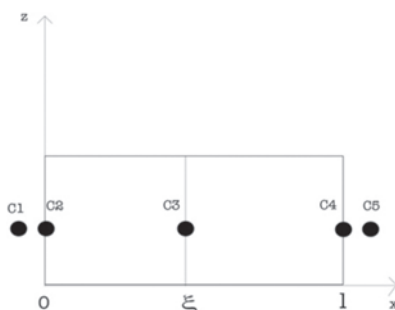


Рисунок 1 – Двухслойный контейнер.

Постановка задачи. На рис. 1 показан двухслойный контейнер, боковые поверхности которого теплоизолированы, а торцевые поверхности находятся в контакте с окружающей средой (воздухом). Принимая во внимание эти ограничения, вместо трехмерного уравнения теплопроводности можно рассмотреть одномерное нестационарное уравнение:

$$c(u)\rho(u) \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right), \quad x \in (0, \xi) \times (\xi, l), t \in (0, 4t_{\max}) \quad (1)$$

где $u(x, t)$ – распределение температуры внутри контейнера, x – координата комплекса по оси Ox , t – текущее время. В начальный момент наблюдения температура обоих слоев тела равна: $t = 0, u(x, 0) = u_0(x), x \in (0, l)$. Температура окружающей среды на левой границе области при $x = 0$ обозначается через $u_{ins}(t)$, а на правой границе при $x = l$ обозначается через $u_{out}(t)$.

Граничные условия, определяющие особенности процесса на поверхности стенки, задаются следующим образом: левая и правая границы области $\Omega = (0, \xi) \times (\xi, l)$ находятся в контакте с газовой средой (воздухом), следовательно, на этих границах она целесообразно сформулировать граничное условие Робина – зависимость между тепловым потоком, обусловленным теплопроводностью от твердой стенки, и тепло-

вым потоком от газовой среды. Таким образом, граничные условия на левой и правой границах записываются следующим образом:

$$x = 0: k_1(u) \frac{\partial u}{\partial x} = h_{ins}(u)(u - u_{ins}(t)), \quad (2)$$

$$x = l: k_2(u) \frac{\partial u}{\partial x} = -h_{out}(u)(u - u_{out}(t)), \quad (3)$$

где $u_{ins}(t)$, $u_{out}(t)$ – температура окружающей среды; $h_{ins}(t)$, $h_{out}(t)$ – коэффициенты теплоотдачи; $k_1(u)$, $k_2(u)$ – коэффициенты теплопроводности «1» и «2» среды.

Обычно на контактной поверхности слоев $x = \xi$ задается граничное условие, определяющее равенство температур и тепловых потоков на стыке материалов:

$$\begin{aligned} u_1(\xi, t) &= u_2(\xi, t), \\ k_1(u) \frac{\partial u_1}{\partial x}(\xi, t) &= k_2(u) \frac{\partial u_2}{\partial x}(\xi, t). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $u_1(x, t)$ и $u_2(x, t)$ – температуры контактирующих слоев материала. При решении задач с контактными условиями вида (4) скорость сходимости однородной разностной схемы становится очень низкой. Поэтому, чтобы избежать этой проблемы, а также для решения обратной задачи, в точке $x = \xi$ мы разместили отдельный датчик, который измеряет изменение температуры почвы в точке соприкосновения двух сред. За счет этого исходная задача разбивается на две задачи, т.е. с использованием измеренных данных в каждом контейнере решается своя обратная задача нелинейной теплопроводности. В следующем алгоритме есть описание обратной задачи только для левого контейнера, показанного на рисунке 1

В дополнение к $u_{ins}(t)$, $u_{out}(t)$ измеряются начальные значения температуры

$$T_{ins}(t), T_{\xi}(t), T_{out}(t), t \in [0, 4t_{max}], \quad (5)$$

где T_{ins} , T_{ξ} , T_{out} – измеренная температура материалов в точках $x = 0$, $x = \xi$ и $x = l$. Для удобства введем обозначение $h_{ins}(u) = h_1(u)$.

Задача. Используя измеренные значения $h_{ins}(t)$, $T_{ins}(t)$, $T_{\xi}(t)$, $t \in [0, 4t_{max}]$, необходимо разработать метод для нахождения параметров среды $\rho_1(u)$, $c_1(u)$, $k_1(u)$, $h_1(u)$.

На основе (1) – (5) обратная задача определяется следующим образом:

В области $Q_1 = (0, \xi) \times (0, 4t_{max})$ исследуется следующая система

$$c_1(u)\rho_1(u) \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_1(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right), \quad (6)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad (7)$$

$$k_1(u) \frac{\partial u}{\partial x} = h_1(u)(u - u_{ins}(t)), \quad x = 0, \quad (8)$$

$$u(\xi, t) = T_{\xi}(t), \quad (9)$$

где $c(u) = c_0 + c_1u$, $\rho(u) = \rho_0 + \rho_1u$,

$k(u) = k_0 + k_1u + k_2u^2 + k_3u^3$, $h(u) = h_0 + h_1u + h_2u^2$,
измеренные значения на левой границе области:

$$T_{ins}(t), t \in [0, 4t_{max}]. \quad (10)$$

Разработка итерационных методов. Итерационный метод определения коэффициента теплопроводности $k_1(u)$. В области сетки мы изучаем итерационный метод разностной схемы для нахождения коэффициента теплопроводности. В области сетки изучается разностная схема L_{11} .

Схема L_{11} :

$$\rho_1(u_i^{j+1}) \cdot c_1(u_i^{j+1}) \frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta x} \left(k_1 \left(u_{i+\frac{1}{2}}^{j+1} \right) \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}}{\Delta x} - k_1 \left(u_{i-\frac{1}{2}}^{j+1} \right) \frac{u_i^{j+1} - u_{i-1}^{j+1}}{\Delta x} \right),$$

$$i = 1, 2, \dots, I - 1; j = 0, 1, \dots, m - 1;$$

$$u_i^0 = u_0(x_i), i = 0, 1, \dots, I;$$

$$u_1^{j+1} = T_\xi(t_{j+1}), j = 0, 1, \dots, m - 1; \tag{11}$$

$$k(u_{1/2}^{j+1}) \frac{u_1^{j+1} - u_0^{j+1}}{\Delta x} = h_1(u_0^{j+1})(u_0^{j+1} - u_{ins}^{j+1});$$

где

$$u_{i+1/2} = \frac{u_{i+1}^{j+1} + u_i^{j+1}}{2}, i = 0, 1, \dots, I - 1.$$

Затем, применяя метод Ньютона для системы (11) и приводя к трехдиагональной системе, для решения задачи используется скалярный метод Томаса.

Итерационные методы для требуемых величин.

В области $(0, \xi) \times (0, t_{max})$ решена дискретная задача (11). Предполагается, что коэффициент $k_1(u)$ представлен в виде

$$k_1(u) = k_{10} + k_{11}u + k_{12}u^2 + k_{13}u^3$$

Предполагая, что решение задачи непрерывно зависит от $k_1(u)$ и имеет производную по $k_1(u)$, мы дифференцируем систему по параметру

$$k_{1s}(u), s = 0, 1, 2, 3$$

Введем следующее обозначение

$$\frac{\partial u_i^{j+1}}{\partial k_{1s}} = y_i^{j+1}(s), i = 0, 1, \dots, I; j = 0, 1, \dots, m - 1; s = 0, 1, 2, 3$$

затем

$$\frac{\partial \rho_1(u_i^{j+1})}{\partial k_{1s}} = \rho_1'(u_i^{j+1}) y_i^{j+1}(s), s = 0, 1, 2, 3$$

$$\frac{\partial c_1(u_i^{j+1})}{\partial k_{1s}} = c_1'(u_i^{j+1}) y_i^{j+1}(s), s = 0, 1, 2, 3$$

$$\frac{\partial k_1(u_i^{j+1})}{\partial k_{1s}} = (u_i^{j+1})^s + k_1'(u_i^{j+1}) y_i^{j+1}(s), s = 0, 1, 2, 3$$

$$\frac{\partial h_1(u_0^{j+1})}{\partial k_{1s}} = h_1'(u_0^{j+1}) y_0^{j+1}(s), s = 0, 1, 2, 3$$

После дифференцирования системы (11) относительно k_{1s} , $s = 0, 1, 2, 3$, в зависимости от s возникают различные проблемы. Эти задачи могут быть записаны в унифицированной форме следующим образом:

$$\begin{aligned} & [c'_1(u_i^{j+1})\rho_1(u_i^{j+1}) + \rho'_1(u_i^{j+1})c_1(u_i^{j+1})] y_i^{j+1}(s) u_{i,\bar{x}}^{j+1} + c_1(u_i^{j+1})\rho_1(u_i^{j+1}) y_{i,\bar{x}}^{j+1}(s) \\ &= \left[k_1 \left(u_{i+\frac{1}{2}}^{j+1} \right) y_{ix}^{j+1}(s) \right]_{\bar{x}} \\ &+ \left[\left(\left(u_{i+\frac{1}{2}}^{j+1} \right)^s + k'_1 \left(u_{i+\frac{1}{2}}^{j+1} \right) \frac{y_{i+1}^{j+1}(s) + y_i^{j+1}(s)}{2} \right) u_{ix}^{j+1} \right]_{\bar{x}} \\ & \quad i = 1, 2, \dots, I-1; j = 0, 1, \dots, m-1; \\ & \quad y_i^0 = 0, i = 0, 1, \dots, I; y_i^{j+1} = 0, j = 0, 1, \dots, m-1 \\ & k_1 \left(u_{\frac{1}{2}}^{j+1} \right) y_{1,x}^{j+1}(s) + \left(\left(u_{\frac{1}{2}}^{j+1} \right)^s + k'_1 \left(u_{\frac{1}{2}}^{j+1} \right) \frac{y_1^{j+1}(s) + y_0^{j+1}(s)}{2} \right) u_{1,\bar{x}}^{j+1} \\ &= h'_1(u_0^{j+1})(u_0^{j+1} - u_{ins}^{j+1}) + h_1(u_0^{j+1}) y_0^{j+1}(s), j = 0, 1, \dots, m-1 \end{aligned}$$

В задаче 2 параметр s принимает значения 0, 1, 2, 3.

Значения коэффициентов k_{1s} , $s = 0, 1, 2, 3$ коэффициента теплопроводности грунта $k_1(u)$ будут найдены из условия минимума функционала

$$J(k_1(u)) = \sum_{j=0}^{m-1} (u_0^{j+1}(k_1) - T_0^{j+1})^2 \Delta t$$

Прямое дифференцирование последнего равенства относительно k_{1s} , $s = 0, 1, 2, 3$ дает нам градиент построенного функционала, записанный в виде

$$\nabla J(k_{1s}) = 2 \sum_{j=0}^{m-1} (u_0^{j+1}(k_1) - T_0^{j+1}) y_0^{j+1}(s) \Delta t, s = 0, 1, 2, 3 \quad (12)$$

Это значит

$$J(k_1(u)) = \sum_{s=0}^3 J(k_{1s})$$

Зная явное выражение для градиента функционала, параметры функций $k_1(u)$ определяются следующим образом

$$k_{1s}(n+1) = k_{1s}(n) + \mu_1(s) \nabla J(k_{1s}(n)), s = 0, 1, 2, 3$$

Аналогично найдены формулы для остальных теплофизических коэффициентов.

Комментарий. Везде предполагается, что параметры $\rho_1(u)$, $c_1(u)$, $k_1(u)$ и $h_1(u)$, и зависят от u в виде полинома. Однако рассмотренный метод применим в другой форме зависимости от u .

Эксперимент. Экспериментальная работа была проведена в Международном университете информационных технологий (ИТУ) в рамках исследовательского проекта.

В ходе эксперимента были получены данные по одномерному тепломассообмену для различных почв и грунтов. Лаборатория находится в Алматы, Казахстан. Стенки контейнеров состоят из 2 см теплоизоляционного материала, а торцевые стороны соприкасаются с окружающей средой (воздухом). В каждом отсеке контейнера длиной 15 см находятся различные почвенные материалы. Один торец нагревается лампами. На вторую внешнюю сторону влияет климат окружающей среды.

3 датчика (C2, C3, C4) равномерно распределены внутри материала, как показано на рисунке 1. Они измеряют температуру с погрешностью 0,3 градуса Цельсия в соответствии с техническим паспортом датчика. В дополнение к этим датчикам, рядом с торцами расположены еще 2 датчика (C1, C5) для измерения температуры окружающей среды. Ошибки в данных датчиков такие же, как и для предыдущих датчиков. Измерения данных о температуре производятся с интервалом в 10 минут.

Для расчетов рассматривался двухкамерный контейнер с двумя материалами: песком и черноземом. Данные измерялись в течение трех месяцев, и физическая длина всего контейнера определялась с интервалами $x \in (0, l)$, где $l = 30$ см. Граница двух сред находится на расстоянии $x = 15$ см., аналогично датчику измерения температуры. Измерения в точках $x = 0$ и $x = 30$ см. определяют температуру на конечных границах.

Результаты. Измеренные данные о температуре (рис. 2) были использованы для решения численной задачи по нахождению всех теплофизических коэффициентов (теплопроводность, удельная теплоемкость, удельная плотность и коэффициент теплопередачи). Благодаря методу наискорейшего спуска, функционалы достигают своего минимума за 6 и 7 итераций. Минимизация функционала продолжалась до тех пор, пока относительная погрешность между нелинейным решением и экспериментальными данными не достигла $\sim 4,3\%$ для чернозема и $\sim 3,12\%$ для песка. Графики (рис. 3 и рис. 4) показывают, что с повышением температуры значения теплофизических параметров увеличиваются. В этом случае можно оценить поведение коэффициентов теплопроводности и теплоемкости. Графики показывают высокую зависимость от температуры, что, в свою очередь, подтверждается теоретической базой.

На рис. 5 и рис. 6 показаны значения теплофизических коэффициентов вдоль контейнера. На графиках четко видны скачки-разрывы значений теплофизических коэффициентов на границе контакта двух сред, за исключением коэффициента объемной теплоемкости. Следовательно, объемная теплоемкость показывает непрерывный характер значений.

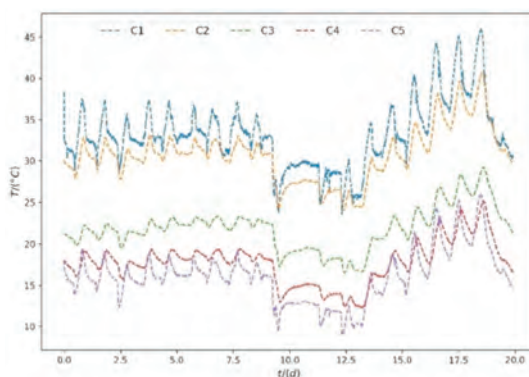


Рисунок 2 – Экспериментальные данные.

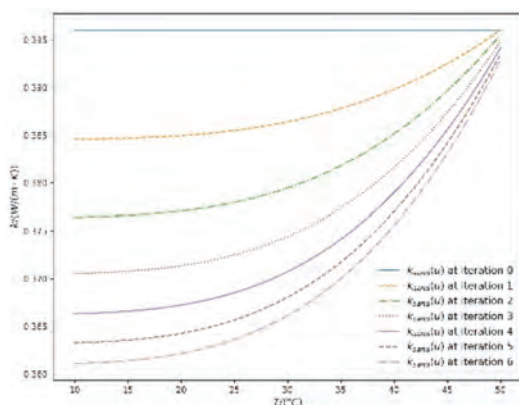


Рисунок 3 – График функции коэффициента теплопроводности песка в зависимости от температуры на каждой итерации.

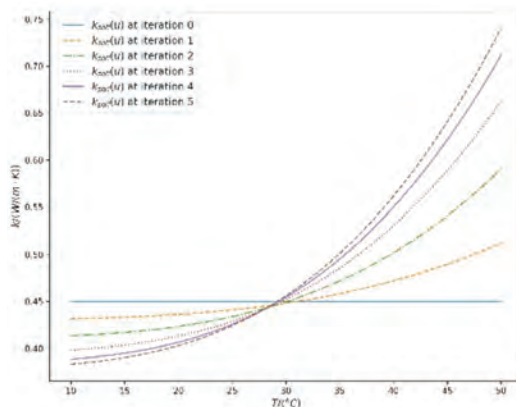


Рисунок 4 – График зависимости коэффициента теплопроводности чернозема от температуры на каждой итерации.

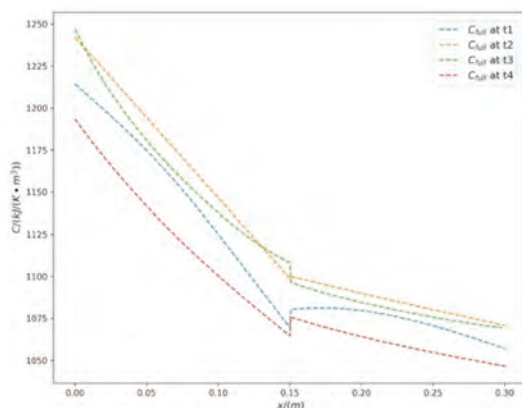


Рисунок 5 – График объемной теплоемкости двухслойного контейнера.

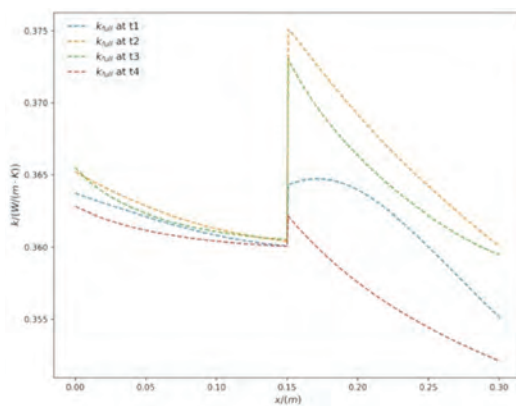


Рисунок 6 – График коэффициента теплопроводности вдоль двухслойного контейнера.

Заключение. В контексте прогнозирования и нахождения всех теплофизических коэффициентов (теплопроводности, теплоемкости, плотности и теплопередачи) предлагается эффективный численный метод, в отличие от ранее предложенных методов в литературе. Такой подход позволяет одновременно находить все теплофизические коэффициенты в двух средах с контактной границей. Отмечается, что предлагаемое решение нелинейного уравнения теплопроводности имеет коэффициент теплопроводности в виде кубической функции, а коэффициенты теплоемкости, плотности и теплопередачи - в виде линейных функций.

В заключение следует отметить, что исследования в области коэффициентных обратных задач для нелинейных уравнений следует продвигать с помощью подробных экспериментальных измерений, включая, например, влажность, замерзание, пористость и т.д.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке грантового финансирования проектов Министерством образования и науки Республики Казахстан (грант No AP08855955).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Luikov A. V 1964. Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies
- 2 Desta T. Z, Langmans J and Roels S 2011 Experimental data set for validation of heat, air and moisture transport models of building envelopes. Building and Environment
- 3 Thi-Thao Ngo, Jin-Huang Huang and Chi-Chang Wang 2016 Inverse simulation and experimental verification of temperature-dependent thermophysical properties. International Communications in Heat and Mass Transfer
- 4 Tien-Mo Shih, Chao-Ho Sung and Bao Yang 2008. A Numerical Method for Solving Nonlinear Heat Transfer Equations. Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals: An International Journal of Computation and Methodology
- 5 Travis J, Moore M, Jones R 2015 Solving nonlinear heat transfer problems using variation of parameters, International Journal of Thermal Sciences
- 6 Battaglia J-L, Maachou A, Malti R and Melchior P 2013 Nonlinear heat diffusion simulation using Volterra series expansion, International Journal of Thermal Sciences
- 7 Nguyen Huy Tuana and Pham Hoang Quanc 2011 Some extended results on a nonlinear ill-posed heat equation and remarks on a general case of nonlinear terms Nonlinear Analysis: Real World Applications
- 8 Huntul M and Lesnic D 2020 Determination of the time-dependent convection coefficient in two-dimensional free boundary problems, Engineering Computations
- 9 Jumabekova A, Berger J, Dutykh D and Le Meur H 2019 An efficient numerical model for liquid water uptake in porous material and its parameter estimation, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications
- 10 Berger J, Dutykh D, Mendes N, Rysbaiuly B 2019 A new model for simulating heat, air and moisture transport in porous building materials, International Journal of Heat and Mass Transfer.
- 11 Hasanov A 2020, Simultaneously identifying the thermal conductivity and radiative coefficient in heat equation from Dirichlet and Neumann boundary measured outputs, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems
- 12 Lesnic D, Sabah Hussein M, Kamynin V.B and Kostin A 2020 Direct and inverse source problems for degenerate parabolic equations, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems
- 13 Kabanikhin S.I and Shishlenin M.A 2019 Theory and numerical methods for solving inverse and ill-posed problems, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems.
- 14 Jumabekova A, Berger J, Fouquier A, Dulikravich G.S 2020 Searching an optimal experiment observation sequence to estimate the thermal properties of a multilayer wall under real climate conditions International Journal of Heat and Mass Transfer

REFERENCES

- 1 Luikov A. V 1964. Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies
- 2 Desta T. Z, Langmans J and Roels S 2011 Experimental data set for validation of heat, air and moisture transport models of building envelopes. Building and Environment
- 3 Thi-Thao Ngo, Jin-Huang Huang and Chi-Chang Wang 2016 Inverse simulation and experimental verification of temperature-dependent thermophysical properties. International Communications in Heat and Mass Transfer
- 4 Tien-Mo Shih, Chao-Ho Sung and Bao Yang 2008. A Numerical Method for Solving Nonlinear Heat Transfer Equations. Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals: An International Journal of Computation and Methodology

- 5 Travis J, Moore M, Jones R 2015 Solving nonlinear heat transfer problems using variation of parameters, International Journal of Thermal Sciences
- 6 Battaglia J-L, Maachou A, Malti R and Melchior P 2013 Nonlinear heat diffusion simulation using Volterra series expansion, International Journal of Thermal Sciences
- 7 Nguyen Huy Tuana and Pham Hoang Quanc 2011 Some extended results on a nonlinear ill-posed heat equation and remarks on a general case of nonlinear terms Nonlinear Analysis: Real World Applications
- 8 Huntul M and Lesnic D 2020 Determination of the time-dependent convection coefficient in two-dimensional free boundary problems, Engineering Computations
- 9 Jumabekova A, Berger J, Dutykh D and Le Meur H 2019 An efficient numerical model for liquid water uptake in porous material and its parameter estimation, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications
- 10 Berger J, Dutykh D, Mendes N, Rysbaiuly B 2019 A new model for simulating heat, air and moisture transport in porous building materials, International Journal of Heat and Mass Transfer.
- 11 Hasanov A 2020, Simultaneously identifying the thermal conductivity and radiative coefficient in heat equation from Dirichlet and Neumann boundary measured outputs, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems
- 12 Lesnic D, Sabah Hussein M, Kamynin V.B and Kostin A 2020 Direct and inverse source problems for degenerate parabolic equations, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems
- 13 Kabanikhin S.I and Shishlenin M.A 2019 Theory and numerical methods for solving inverse and ill-posed problems, Journal of Inverse and Ill-Posed Problems.
- 14 Jumabekova A, Berger J, Fouquier A, Dulikravich G.S 2020 Searching an optimal experiment observation sequence to estimate the thermal properties of a multilayer wall under real climate conditions International Journal of Heat and Mass Transfer

Б. РЫСБАЙҰЛЫ, С. Д. АЛПАР

*Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті,
Алматы қаласы, Қазақстан
e-mail: b.rysbaiuly@mail.ru, rapla.natlus@gmail.com*

ТЕРМОФИЗИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРДЫ ТАБУҒА СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС КЕРІ МӘСЕЛЕ

Бұл жұмыста топырақтың сызықты емес жылу өткізгіштік сипаттамаларын анықтау әдісі әзірленген. Екі қабатты контейнерлік кешендер құрылды, олардың бүйір беттері жылу оқшауланған, сондықтан 1D жылу өткізгіштік теңдеуі қолданылады. Температура сенсоры екі ортаның түйіскен жеріне орналастырылады және әр аймақта аралас шекаралық есеп шешіледі. Кері коэффициент есебін бастапқы деректермен қамтамасыз ету үшін екі температура датчигі пайдаланылады: бір датчик контейнердің ашық шекарасына қойылды және осы шекарадағы топырақ температурасын тіркеді, ал екінші датчик шекарадан қысқа қашықтықта орналастырылды, ол ауа температурасын тіркеді. Өлшемдер уақыт интервалында $(0, 4t_{max})$ жүргізілді. Біріншіден, сызықты емес коэффициенттері бар жылу өткізгіштіктің бастапқы-шекаралық есебі шекті айырмашылық әдісімен зерттеледі. Айырмашылық схемалардың екі түрі құрастырылады: сызықтық және сызықтық емес. Сызықтық айырым схемасы скалярлық Томас әдісімен сандық түрде жүзеге асырылады, ал сызықты емес айырмашылық мәселесі Ньютон әдісімен шешіледі. Ньютон әдісінің бастапқы жуықтауы ретінде сызықтық айырым есебінің шешімі қабылданды.

Термофизикалық параметрлерді табу үшін градиенттік түсіру әдісі арқылы сәйкес функционалдық минимизацияланады. Сонымен қатар, құм және қара топырақ қосылған екі қабатты ыдыс үшін барлық термофизикалық сипаттамалар (8 коэффициент) табылды.

Түйін сөздер: жылуөткізгіштік, сызықтық емес, айырмашылық есебі, жинақтылық, кері есеп, параметрге қатысты дифференциалдау.

B. RYSBAIULY, S. D. ALPAR

*International Information Technology University
Almaty, Kazakhstan
e-mail b.rysbaiuly@mail.ru, rapla.nathus@gmail.com*

NONLINEAR INVERSE PROBLEM OF FINDING THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS

In this paper, a method has been developed for determining the nonlinear heat-conducting characteristics of the soil. Two-layer container complexes were created, the side faces of which are thermally insulated, so the 1D thermal conductivity equation is used. The temperature sensor is placed at the junction of two media, and a mixed boundary value problem is solved in each region. In order to provide the inverse coefficient problem with initial data, two temperature sensors are used: one sensor was placed at the open boundary of the container and recorded the soil temperature at this boundary, and the second sensor was placed a short distance from the boundary, which recorded the air temperature. The measurements were carried out in the time interval $(0, 4t_{max})$. First, the initial-boundary problem of heat conduction with nonlinear coefficients is studied by the finite difference method. Two types of difference schemes are constructed: linearized and nonlinear. The linearized difference scheme is implemented numerically by the scalar Thomas method, and the nonlinear difference problem is solved by the Newton method. The solution of a linearized difference problem was taken as the initial approximation of Newton's method. To find the thermophysical parameters, the corresponding functional is minimized using the gradient descent method. In addition, all thermophysical characteristics (8 coefficients) were found for a two-layer container with sand and chernozem.

Key words: thermal conductivity, nonlinearity, difference problem, convergence, inverse problem, differentiation with respect to a parameter.

**A. K. TULESHOV, I. S. GRITSENKO, CH. A. ALIMBAYEV*,
D. KERIMKULOV, M. KANAPIA**

U. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

DYNAMICS OF MOBILE ROBOTS BASED ON THE PRINCIPLE OF LEAST GAUSS COORDINATION TAKING INTO ACCOUNT RANDOM DISTURBING FORCES

Abstract. In this paper, the derivation of the equations of dynamics of a four-wheeled mobile robot is carried out using the variational principle of least constraint, known as the Gauss principle. Equations of nonholonomic constraints are obtained. The function of the measure of coercion of the four-wheeled mobile robot is composed. Dynamic equations based on the Gauss principle are obtained taking into account the dynamic characteristics of two DC motors. Methods for taking into account the friction forces on the wheels and random perturbations due to the unevenness of the canvas are proposed. On the Maple platform, an algorithm and a program for modeling the dynamics of a mobile robot based on the Gauss principle were developed the correctness of the obtained equations of robot motion were proved.

Key words: *mobile wheeled robot, Gauss principle, equations of dynamics, motion modeling, disturbing forces.*

Introduction. The subject of the proposed study is a mobile four-wheeled GMTR. Such robots are used in the machine-building complex for flexible automated production tasks [1], warehouse terminals, and are gaining an increasing sector in the mining industry [2].

The research begins with modeling the dynamics of MR. A lot of works are devoted to solving this problem [1]. Algorithms for implementing dynamic calculations can be built using traditional Lagrange-Euler or Newton-Euler methods [3]. In many works, other forms of robot motion equations are used. These include the Wicker equations [4], or the recurrent Hollerbach equations [5], obtained using the Lagrange-Euler method; the Lu equations [6] based on the Newton-Euler method; the Lee equations [7] using the generalized D'Alembert equations. All these equations are different in form, since they are obtained for different purposes [1,3]. Some of them provide the minimum time for calculating control moments and reactions in the joints of the manipulator, others are used in the synthesis and analysis of control laws, the third is used to simulate manipulator movements [8].

In the dynamics of wheeled MR, the main issue of modeling is the interaction of the wheel with the surface (relief), which is characterized as a non-holonomic bond [9] or the friction force based on the Coulomb-Amonton law [10,11,12], with liquid friction according to the Newton formula [12]. In [11], four possible cases of wheel-terrain interaction were noted. The first case is a rigid wheel moving over rough terrain. The second case is a rigid wheel moving over deformable terrain. The third case is a deformable wheel moving over a deformable terrain. The fourth case is a deformable wheel moving over rough terrain. Although many different types of models (i.e. finite elements, discrete elements, empirical) have been developed for each of these four cases, the focus here is on analytical models [12]. At the same time, in these works, the random nature of friction associated with

* E-mail корреспондирующего автора: Chingiz_kopa@mail.ru

the change of sign and the consideration of abrupt changes in the load were ignored. For highly loaded robots, dynamic performance indicators become essential because they have a significant impact on the modes of movement of the system.

In this regard, the practical application of a mobile transport robot requires extensive research of the dynamics and evaluation of the accuracy of the quality of movement in order to optimize the developed control system, while not changing the developed concept and hierarchical structure of the intelligent control system MR [13,14,15].

The robot's reaction to stochastic external disturbances (abrupt changes in the gravity of the load) and non-holonomic connections (wheel slippage) is investigated. The derivation of differential equations is carried out using the variational principle of least coercion, known as the Gauss principle. Algorithms and numerical programs have been developed for analyzing and deriving calculated formulas of disturbing forces, including stochastic ones, due to random obstacles under the wheels, abrupt changes in the load and its movement on the upper platform, sudden changes in the directions of movement, acceleration and braking of the robot in a short period of time.

Derivation of dynamic equations. The universal platform of the mobile robot consists of a frame on which four wheels and two electric motors are attached (Figure 1). The two rear wheels are driving. The robot platform is a frame of variable length on which various mechanisms can be installed.

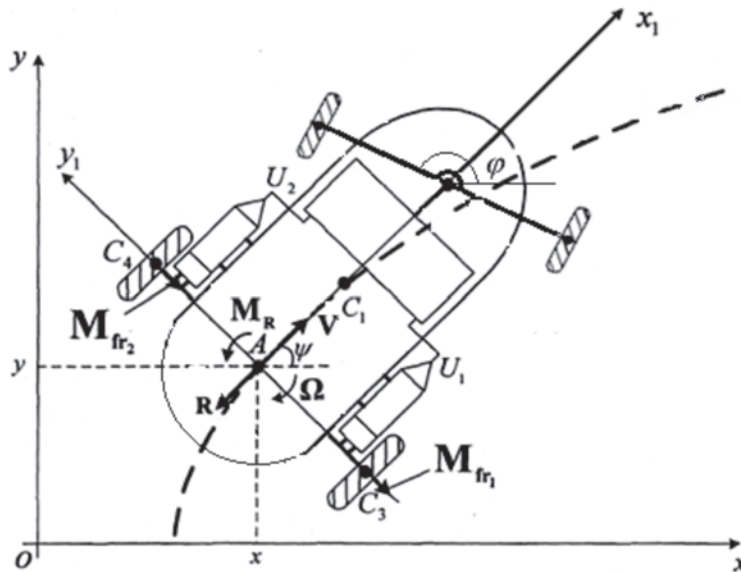


Figure 1 – Calculation scheme of a mobile robot for deriving equations of motion

We introduce the following coordinate systems: a fixed coordinate system $Oxyz$, the plane of which Oxy coincides with the horizontal rough plane on which the wheels of the robot roll, and the movable system $Ax_1y_1z_1$ starting at point A , rigidly connected to its platform (Figure 1). At the same time, the axis Ay_1 directed along the line C_3C_4 , and the center of gravity of the robot C_1 lies on the axis Ax_1 , being the axis of symmetry of the chassis.

When modeling the movement of a mobile robot, we introduce a number of conditions: a) the robot is considered as a system of absolutely rigid bodies; c) the movement is carried out without slipping; d) the masses of the front wheels, gears of reduction gears are considered equal to zero; c) the robot moves with the driven wheel forward.

Communication equations. The position of the bodies of the mobile robot in the coordinate system $Oxyz$ is determined by the vector of generalized coordinates $q_1 = |x, y, \psi, \varphi_1, \varphi_2|^T$, where x, y – координаты точки A – the midpoints of the segment connecting the centers C_3, C_4 rear wheels 3,4; ψ - angle of rotation around the vertical platform 1, measured from the axis Ox ; φ_1, φ_2 - angles of rotation of the driving wheels relative to the horizontal axes. Accordingly, the vector of generalized robot velocities has the form $\dot{q} = |\dot{x}, \dot{y}, \dot{\psi}, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2|^T$.

The platform angular velocity vector is defined as $\Omega = |0, 0, \dot{\psi}|^T$, where vector Ω given by projections on the axes $Axyz$. The vectors of the angular velocities of the drive wheels are determined by the relations: $\Omega_1 = |0, \dot{\varphi}_1, \dot{\psi}|^T$, $\Omega_2 = |0, \dot{\varphi}_2, \dot{\psi}|^T$, where Ω_1, Ω_2 , given as projections on the axes $Ax_1y_1z_1$.

The speeds of the points of contact of the driving wheels with the surface can be determined from the equations:

$$\begin{aligned} V_{P_3} &= V + [\Omega, l] + [\Omega_1, r], \\ V_{P_4} &= V + [\Omega, l] + [\Omega_2, r], \end{aligned} \quad (1)$$

where V - linear velocity vector of point A of the platform; V_{P_3} - contact point velocity vector P_3 left wheel; V_{P_4} - contact point velocity vector P_4 right wheel; $l = AC_3 = AC_4$ – half the distance between the driving wheels; $r = C_3P_3 = C_4P_4$ – drive wheel radius.

Since the movement of the drive wheels occurs without slipping, it means $V_{P_4} = V_{P_3} = 0$. Taking into account this condition, based on the projection of equation (1) on the axis $Ax_1y_1z_1$ we obtain three independent equations of non-integrable (non-holonomic) constraints:

$$\begin{cases} V_{P_3y_1} = V_{P_4y_1} = -\dot{x} \sin \psi + \dot{y} \cos \psi = 0, \\ V_{P_3x_1} = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi + l\dot{\psi} - r\dot{\varphi}_1 = 0, \\ V_{P_4x_1} = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi - l\dot{\psi} - r\dot{\varphi}_2 = 0, \end{cases} \quad (2)$$

Vector of pseudovelocities ($\dot{\pi} = [V \ \Omega]$) includes two elements: velocity $V = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi$ points A , angular velocity of platform $\Omega = \dot{\psi}$. The relationship between the generalized and pseudovelocities of the system in this case has the form

$$\dot{q} = H\dot{\pi} \quad (3)$$

Let's write down the matrix H :

$$H = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 \\ \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 \\ \frac{1}{r} & \frac{l}{r} \\ \frac{1}{r} & -\frac{l}{r} \end{bmatrix}$$

Dependence (3) between generalized velocities and pseudovelocities can be rewritten in scalar form:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \psi, \quad \dot{y} = V \sin \psi, \\ \dot{\psi} &= \Omega, \quad \dot{\phi}_1 = \frac{V+l\Omega}{r}, \quad \dot{\phi}_2 = \frac{V-l\Omega}{r}, \end{aligned} \quad (4)$$

Dynamic equations. The derivation of differential equations will be carried out using the variational principle of least constraint, known as the Gauss principle. As a measure of coercion, a value Z is taken in the form of the following functional

$$Z = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left[m_i \left(\ddot{x}_i - \frac{F_{ix}}{m_i} \right)^2 + m_i \left(\ddot{y}_i - \frac{F_{iy}}{m_i} \right)^2 + J_i \left(\ddot{\phi}_i - \frac{M_i}{J_i} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Here F_{ix}, F_{iy} - projections of external forces reduced to the center of mass, M_i - moment of external forces, m_i, j_i - mass and moment of inertia relative to the center of mass of the i -th link, $\delta \ddot{x}_i, \delta \ddot{y}_i, \delta \ddot{\phi}_i$ - variations of projections of the acceleration vector and angular acceleration.

The equations of dynamics of a mechanical system are obtained from the stationarity condition in variational form and the necessary conditions for the minimum of the functional (5)

$$\delta Z = 0, \quad \frac{\partial Z}{\partial \pi} = 0. \quad (6)$$

The moving parts of the mobile robot are the platform and wheels, which, relative to the plane of their location, make flat movements. The following designations are accepted: m_1 – суммарная масса платформы, j_1 - the moment of inertia of the robot about the vertical axis passing through its center of mass C_1 , $a = AC_1$ – distance from point A to the center of gravity of the robot C_1 , m_k – total weight of the driving wheel, j_y – moment of inertia of the wheel about the horizontal axis.

Then functional (5) for the considered mobile robot can be written in the form

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{2} \left[m_1 \left(\dot{V} - \frac{F}{m_1} \right)^2 + (J_1 + m_1 a^2) \left(\dot{\psi} - \frac{M_R}{J_1 + m_1 a^2} \right)^2 + (J_y + m_k r^2) \left(\dot{\phi}_1 - \frac{M_{fr1} - M_{d1}}{J_y + m_k r^2} \right)^2 + \right. \\ &\left. + (J_y + m_k r^2) \left(\dot{\phi}_2 - \frac{M_{fr2} - M_{d2}}{J_y + m_k r^2} \right)^2 \right], \end{aligned} \quad (7)$$

where M_{fr1}, M_{fr2} – moments of rolling friction on the driving wheels; M_{d1}, M_{d2} – driving moments; F – projection of the main force on the direction of velocity V , brought to point A platform, M_R – main moment of forces acting on the platform.

In equation (7) from system (4), we substitute the last two equations, which are presented in the form

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_1 &= b_1 \dot{V} + b_2 \dot{\Omega}, \\ \dot{\phi}_2 &= b_1 \dot{V} - b_2 \dot{\Omega}, \end{aligned} \quad (8)$$

where $b_1 = 1/r$, $b_2 = l/r$.

Then

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{2} \left[m_1 \left(\dot{V} - \frac{F}{m_1} \right)^2 + (J_1 + m_1 a^2) \left(\dot{\Omega} - \frac{M_R}{J_1 + m_1 a^2} \right)^2 + (J_y + m_k r^2) \left(b_1 \dot{V} + b_2 \dot{\Omega} - \right. \right. \\ &\left. \left. \frac{M_{fr1} - M_{d1}}{J_y + m_k r^2} \right)^2 + (J_y + m_k r^2) \left(b_1 \dot{V} - b_2 \dot{\Omega} - \frac{M_{fr2} - M_{d2}}{J_y + m_k r^2} \right)^2 \right], \end{aligned} \quad (9)$$

From conditions (6) one can obtain four equations. The first condition satisfies the equation

$$\delta Z = B_1(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2)\delta\ddot{\pi}_1 + B_2(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2)\delta\ddot{\pi}_2 = 0. \quad (10)$$

Note that synchronous variation takes place here, in which only the acceleration remains $\vec{v}_{i1} = \vec{v}_{i2}$, $\vec{w}_{i1} \neq \vec{w}_{i2}$, which is called Gaussian variation:

$$\delta\vec{r}_i = \frac{1}{2}\delta\vec{w}_i(\Delta t)^2, \quad (11)$$

where Δt - short time, $\delta\vec{r}_i$ - displacement vector variation, $\delta\vec{w}_i$ - acceleration vector variation.

Taking into account the independence of pseudoaccelerations $\ddot{\pi}_1 = \dot{V}$ и $\delta\ddot{\pi}_2 = \dot{\Omega}$ to fulfill equation (10), it is necessary that

$$B_1(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2) = 0, B_2(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2) = 0. \quad (12)$$

Equation (12) is used to determine the driving forces M_{d1} , M_{d2} .

The equations of motion of the mobile robot will be obtained from the equations

$$\frac{\partial Z}{\partial \ddot{\pi}_1} = 0, \quad \frac{\partial Z}{\partial \ddot{\pi}_2} = 0 \quad (13)$$

Let us assume that DC motors are installed on the driving wheels [13,17]. Then, based on equations (12) and (13), we obtain the equations of the dynamics of a mobile robot in the following form:

$$\begin{cases} m\dot{V} = \frac{nc}{r}(i_1 + i_2) - \mu_n V + \frac{1}{r}(M_{fr1} + M_{fr2}) + m_1 a \Omega^2 \\ J\dot{\Omega} = \frac{nc l}{r}(i_1 - i_2) - \mu_B \Omega + \frac{l}{r}(M_{fr1} - M_{fr2}) - m_1 a V \Omega \\ L \frac{di_1}{dt} + R i_1 + \frac{nc}{r}(V + l\Omega) = U_1 \\ L \frac{di_2}{dt} + R i_2 + \frac{nc}{r}(V - l\Omega) = U_2 \end{cases} \quad (14)$$

where L - inductance; i_1, i_2 - currents in the armature circuits; R - armature circuit resistance; U_1, U_2 - circuit voltage (control parameters); n - gear ratio.

The coefficient of electromechanical interaction with is determined as follows:

$$c = \frac{(M_1 - M_2)U_H}{\dot{\gamma}_H M_1}, \quad (15)$$

where M_1 - motor starting torque; M_2 - rated motor torque; $\dot{\gamma}_H, U_H$ - respectively, the rated angular velocity and the rated voltage of the electric motor.

Values M_{frk} ($k = 1, 2$) from equations (14) we define as follows:

$$M_{frk} = \begin{cases} -\delta N_k \text{sign}(\dot{\phi}_k), \dot{\phi}_k \neq 0, \\ -nc i_k, \dot{\phi}_k = 0, |nc i_k| \leq \delta N_k, \\ -\delta N_k \text{sign}(i_k), \dot{\phi}_k = 0, |nc i_k| > \delta N_k \end{cases} \quad (16)$$

where δ - коэффициент трения качения; N_k - normal reaction force of the horizontal reference plane acting on k - driving wheel.

Discussion of results and conclusion. As a result, based on the Gauss principle of least constraints, the equations of dynamics of a four-wheeled mobile robot with two driving wheels are obtained. Equations (14) take into account the moments of friction force that occur between the wheels and the web, as well as the dynamic characteristics of DC motors. The unevenness of the web when modeling the dynamics of a mobile robot is carried out by adding to the system (14) the following equation

$$m\ddot{z} = -c(z - h) - \alpha(\dot{z} - \dot{h}), \quad (17)$$

where the functions $h(z)$ of the road roughness and has the form of a function with a random amplitude.

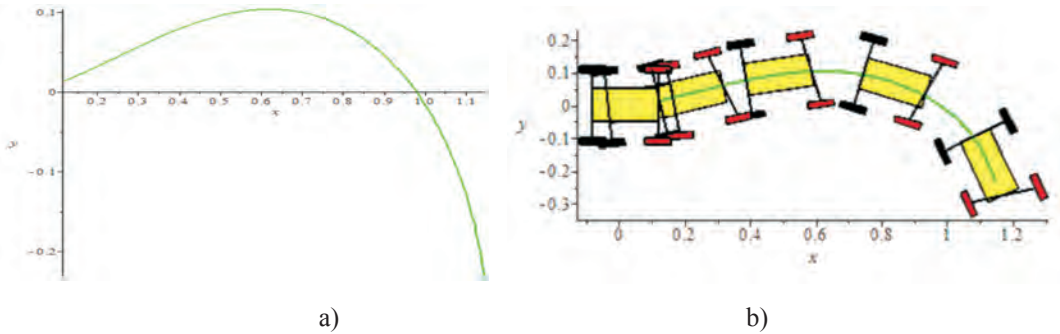


Figure 2 – Graphs of the movement of a mobile robot: a) the trajectory of movement; b) animation of moving the robot platform

In the Maple analytical computing system, a program was compiled for simulating the movement of a mobile robot based on equations (14) and calculating the transverse vibrations of the robot body when moving along a road with bumps based on equation (17). Figure 2 shows the simulation results. Figure 2a shows the trajectory of the center of gravity of the mobile robot with the speed V and the angular velocity of rotation Ω of the platform relative to this center. The turn can be clearly seen in Figure 2b, which shows the animation of platform movements along the center trajectory. Figure 3 shows a plot of the speed V of the platform along the trajectory. The movement speed is controlled by changing the control parameters U_1, U_2 .

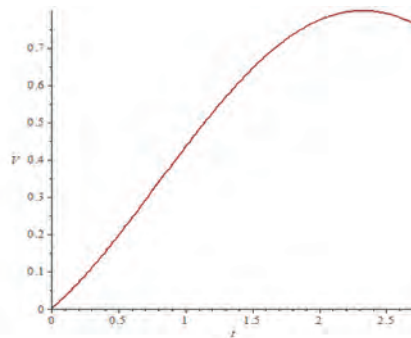


Figure 3 – Graph of the change in the speed V of the platform along the trajectory

The segments of the piecewise linear characteristic determine the number of segments that are involved in the fitting procedure. The fitting method is an exact method for solving a particular equation.

In the Maple system, a program was compiled for solving the differential equation of a mobile robot, taking into account (17). Let's take the coefficient of road resistance $\psi = 0.15$ for a compacted dirt road. The mass of the mobile robot is 1140 kg, the mass of the mobile robot with a load is 1640 kg.

The web roughness function in equation (17) as a function of time during the movement of the mobile robot. Figure 4a shows that the mass changes in a abrupt at $t = 2$ c.

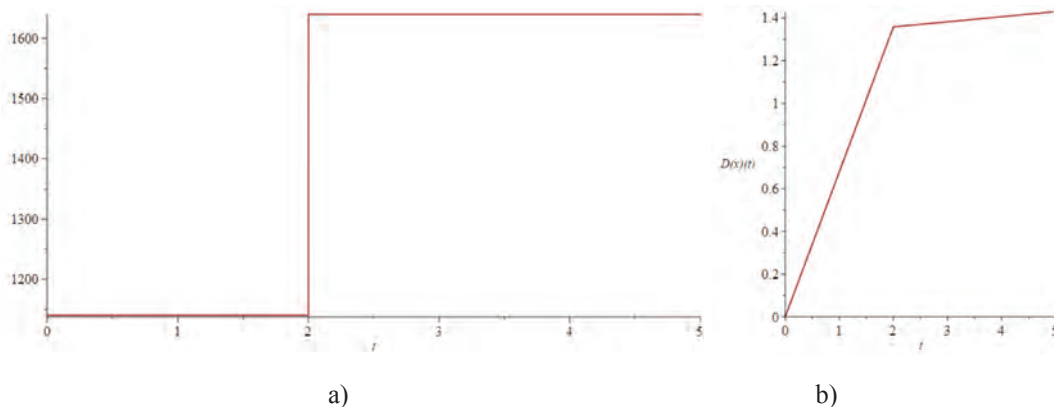


Figure 4 – Simulation of the dynamics of the robot, taking into account the unevenness of the web: a) a graph of the change in the function $h(z)$; b) the graph of the speed during the acceleration of the mobile robot for 5sec and the abrupt change in the load at $t = 2$ c

Graph 4b shows the acceleration rate of the mobile robot for 5 seconds. As can be seen from the graph, after the mass was added ($t = 2s$), the acceleration speed became slow.

In addition, the value of the functional is indirectly related to the reactions in kinematic pairs according to the equality obtained from the Gauss principle

$$Z = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \frac{R_i^2}{m_i} . \quad (18)$$

The condition that the quantity is minimal for actual motion leads to an extreme property of constraint reactions: for actual motion, constraint reactions are minimal.

For example, in order to estimate the main vector of force and the main moment of forces reduced to the center of gravity of the platform, we have:

$$Z = \frac{1}{2} \left[\frac{R_{12}}{m_1} + \frac{M_{12}}{J_1 + m_1 a^2} \right], \quad (19)$$

where R_{12} – the reaction of the connection between the platform and the wheels, reduced to a point A, M_{12} - moment of coupling reactions between the platform and wheels, relative to the point A.

To find R_{12} и M_{12} needs to (7) be shaped for (19).

Thus, the Gaussian principle of no less compulsion made it possible to simplify the procedure for deriving the equations of the dynamics of a mobile robot, taking into account

the perturbing forces, and to evaluate the reactions between individual moving parts (links) of the robot. The equations of dynamics obtained on the basis of the Gauss principle are correct and make it possible to simulate the motion of the MR taking into account random perturbing forces.

Источник финансирования исследований. Работа выполнена в рамках грантового проекта AP14870662, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

REFERENCES

- 1 Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.). Springer Handbook of Robotics// Chapter 24 and 49. Wheeled Robots. 2nd Edition. Verlag Berlin Heidelberg, 2016
- 2 P. Corke, J. Roberts, J. Cunningham, and D. Hainsworth, Handbook of Robotics. Berlin, Germany: Springer, 2008, pp. 1127-1150.
- 3 К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. Робототехника. Перевод с англ.- М.:Мир, 1989. -624 с., [K. Fu, R. Gonzalez, K. Lee. Robotics. Translation from English - M.: Mir, 1989. -624 p.]
- 4 Hollerbach J.M. Dynamic Scaling of Manipulator Trajectories, Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control, 106, pp. 102-106, 1984.
- 5 Luh J. Y. S., Walker M.W., Paul R. P. On Line – Computational Scheme for Mechanical Manipulators, Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control, 120, pp. 69-76, 1980.
- 6 Lee C. S. G., Lee B. H., Nigam R. Development of the Generalized d'Alembert Equations of Motion for Mechanical Manipulators, Proc.2nd Conf. Decision and Control, San Antonio, Tex., pp. 1205-1210, 1983.
- 7 Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of Robotic Mechanisms, Trans. ASME, J. Systems, Measurement and Control, 104, pp. 205-211, 1982.
- 8 G. Campion, G. Bastin, B. d'Andrea-Novel: Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots, IEEE Trans. Robotics Autom. 12, 47–62 (1996)
- 9 Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.). Springer Handbook of Robotics// Chapter 24. Wheeled Robots. 2nd Edition. Verlag Berlin Heidelberg 2016
- 10 W. Chung: Nonholonomic Manipulators, Springer Tracts Adv. Robotics, Vol. 13 (Springer, Berlin, Heidelberg 2004)
- 11 Левитский Н.И. Колебания в механизмах. Уч.пос. –М.: Наука, 1988.-336 с.[Levitsky N.I. Vibrations in mechanisms. Uch.pos. –M.: Nauka, 1988.-336 p.]
- 12 Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.). Springer Handbook of Robotics// Chapter 47. Motion Planning and Obstacle Avoidance. 2nd Edition. Verlag Berlin Heidelberg 2016
- 13 Отчет по НИР по грантовому финансированию (ГФ.2012) на тему «Исследование динамики, разработка системы управления, проектирование и создание опытного образца мобильного робота» на 2012-2014 годы (№ госрегистрации 0112РК0206). [Report on research on grant financing (GF.2012) on the topic: “Research of dynamics, development of a control system, design and creation of a prototype of a mobile robot” for 2012-2014 (state registration number 0112RK0206).]
- 14 Bissebayev K., Jomartov A., Tuleshov A., Dikambay T. Analysis of the Oscillating Motion of a Solid Body on Vibrating Bearers // Machines, 2019. – V. 7. - №3. – С. 58. (Scopus: CiteScore percentile Mechanical Engineering = 68; WoS).
- 15 Tuleshov, A., Ozhikenov, K., Ozhiken A. The Dynamical Processes Adaptive Stabilization in the Robot Electric Drives Control System, ISSN 1996-3947: International Journal of Experimental Education. - Issue 2. - 2013. - pp. 63-65.

16 Tuleshov A., Kassymbek Ozhikenov, R. Utebayev, E. Tuleshov. Modeling the Dynamics of Robot Motor Drive Control System// Applied Mechanics and Materials. -2014. - Volume 467. - pp. 510-515. ISSN: 1662-7482(Scopus: SJR 0.415)

17 Зегжда С.А., Солтаханов Ш.Х., Юшков М.П. Уравнения движения неголономных систем и вариационные принципы механики. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2002. – 408 с.[Zegzhda S.A., Soltakhanov Sh.Kh., Yushkov M.P. Equations of motion of nonholonomic systems and variational principles of mechanics. - St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University, 2002. - 408 p.]

**А. К. ТУЛЕШОВ, И. С. ГРИЦЕНКО, Ч. А. АЛИМБАЕВ,
Д. КЕРИМКУЛОВ, М. КАНАПИЯ**

*Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова,
г. Алматы, Казахстан
Chingiz_kopa@mail.ru*

ДИНАМИКА МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА НАИМЕНЬШЕГО ПРИНУЖДЕНИЯ ГАУССА С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ СИЛ

В работе вывод уравнений динамики четырехколесного мобильного робота осуществляется с использованием вариационного принципа наименьшего принуждения, известного как принцип Гаусса. Получены уравнения неголономных связей. Составлена функция меры принуждения четырехколесного мобильного робота. Уравнения динамики на основе принципа Гаусса получены с учетом динамической характеристики двух двигателей постоянным током. Предложена методика учета сил трения на колесах и случайных возмущений за счет неровности полотна. На платформе Maple разработан алгоритм и программа моделирования динамики мобильного робота на основе принципа Гаусса и доказана корректность и правильность полученных уравнений движения робота.

Ключевые слова: *мобильный колесный робот, принцип Гаусса, уравнения динамики, моделирование движения, возмущающие силы.*

**А. Қ. ТӨЛЕШОВ, И. С. ГРИЦЕНКО, Ш. А. АЛИМБАЕВ,
Д. КЕРІМҚҰЛОВ, М. ҚАНАПИЯ**

*Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты,
Алматы қ., Қазақстан,
Chingiz_kopa@mail.ru*

КЕЗДЕЙСОҚ КОЗДЫРҒЫШ КҮШТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП ЕҢ АЗ ШЕКТЕУ ГАУСС ПРИНЦИПІ НЕГІЗІНДЕ ЖЫЛЖЫМАЛЫ РОБОТТАРДЫҢ ДИНАМИКАСЫ

Бұл жұмыста төрт доңғалақты жылжымалы роботтың динамикасының теңдеулерін шығару Гаусс принципі деп аталатын ең аз шектеудің вариациялық принципін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Голономдық емес шектеулердің теңдеулері алынды. Төрт доңғалақты

мобильді роботтың мәжбүрлеу функциясын құрастырылды. Гаусс принципіне негізделген динамикалық теңдеулер тұрақты токтың екі қозғалтқышының динамикалық сипаттамаларын ескере отырып алынады. Дөңгелектердегі үйкеліс күштерін және кенептің кедір-бұдырлығына байланысты кездейсоқ бұзылуларды есепке алу әдістері ұсынылған. Maple платформасында Гаусс принципі бойынша жылжымалы роботтың динамикасын модельдеу алгоритмі мен бағдарламасы жасалып, роботтың қозғалыс теңдеулерінің алынған дұрыстық мен дұрыстығы дәлелденді.

Түйін сөздер: *қозғалмалы доңғалақты робот, Гаусс принципі, динамика теңдеулері, қозғалысты модельдеу, кедергі күштері.*

**А. Б. ТОҚТАРОВА^{1*}, Б. С. ОМАРОВ², Ж. Ж. АЖИБЕКОВА³,
А. Н. ЖАКСАНОВА⁴, Р. Б. АБДРАХМАНОВ⁵**

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық Қазақ – Түрік Университеті,
Түркістан, Қазақстан

²аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

³С. Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті,
Алматы, Қазақстан

⁴М.Ауезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті, Шымкент, Қазақстан

⁵Халықаралық туризм және меймандостық университеті,
Түркістан, Қазақстан

ЖЕЛІ ҚОЛДАНУШЫЛАРЫНЫҢ «ЭМОЦИЯЛЫ» ПІКІРІ АРҚЫЛЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ҒАДАУАТ СӨЗДЕР КЛАССИФИКАЦИЯСЫ

Кез келген онлайн-пікірді әлеуметтік желіде оңай енгізе алудың нәтижесінде соңғы жылдары желіде өшпенділік білдіру кеңінен тарады. Бұл тенденция негізінен мобильді құрылғылар, компьютерлер мен Интернеттің қарқынды өсуіне байланысты. Ғадауат сөздерін автоматты түрде анықтау бойынша зерттеулерге үлкен қызығушылық туып отыр. Дегенмен, әлеуметтік желі сайттары бейәдеп пікірлерден туатын қылмыстарға және соларға қатысты қауымдастықтарды анықтауға көмектесетіні туралы ғылыми зерттеулер жұмыстарының аздығы байқалады. Ғадауат пікірлер кез келген адамның психикалық деңгейіне кері әсер береді. Дегенмен кейбір адамдар басқаларға қарағанда бейәдеп сөздерден келетін эмоциональдық тұрақсыздыққа бейім келеді. Сол себепті, онлайн контенттегі қорлау сөздер корпусы және оны анықтауда ағылшын, француз және т.б. қолданыс деңгейі жоғары тілдер үшін зерттеулер жетерлік екенін байқауға болады. Ал, қолдану тілі танымал емес нәсілдік немесе этникалық топтар үшін Интернетте жасалған мәтіндерді автоматты түрде жинау және бағалау қиын. Бұл мақалада мәтінді өңдеуде және табиғи тілді өңдеуде жасанды интеллект әдістерін қолдану арқылы әлеуметтік желілерде ғадауат сөздерді анықтау үшін, алдымен, әртүрлі кілттік сөздерді пайдаланып деректер қорын жиналды. Екіншіден, мәтіндерді бірнеше санаттарға жіктеу үшін машиналық оқыту алгоритмдері қолданылды.

Түйін сөздер: ғадауат сөздер, машиналық оқыту, терең оқыту, алгоритм, корпус, аккаунт

Кіріспе. Интернеттің арқасында ақпаратқа қол жеткізу және оны тарату бұрын-соңды болмаған жылдамдықпен жүріп жатыр. Бұл сондай-ақ онлайн контентте тұлға өзін танымал етуге мүмкіндік алумен қатар, сонымен қатар, желі қолданушыға зиян келтіретін немесе қорлау, кемсіту мазмұндас пікірлерді де тарату үшін жақсы орта болып отыр [1]. Осыған байланысты біршама ғылыми зерттеушілер бұл құбылысты автоматты түрде анықтаудың қиындығын зерттеді [1], сонымен қатар осымен салыстырылатын мәселелерді шешуге арналған іс – әрекеттерді біршама класстары бар екендігі анықталды (мысалы, агрессия [2] немесе өшпенділік/қорлау мазмұндас пікірлер).

Негізгі үлгілерді немесе кілт сөздерді пайдалану бұл мәселені шешуде іске асыруға болатын стратегиялардың бірі болып табылады. Нәтижеге жету іс - әрекеттерін

* E-mail корреспондирующего автора: toktar.aigerim@list.ru

классикалық жасанды интеллект тәсілдерімен біріктіру тұжырымдамасы кең таралған тәсілге айналууда. Сөз қапшығы (Bag of Words, BoW) – Kwok пен Wang қолданған әдіс және олар оны қажетті нәтижелерге қол жеткізу үшін аңғал Байес (Naive Bayes) классификаторымен біріктірді. [3]

Басқа зерттеушілер керісінше, машиналық оқыту алгоритмдері үшін функцияларды ұсынудың күрделі әдістерін қолданды (мысалы SVM, аңғал Байес және логистикалық регрессия) [4]. Бұл жалған нәтижелердің жоғары пайызы болғандықтан жасалды, деген қорытындыға әкелді. Эксперименттерді зерттеушілер кемсіту және кемсітушілік санатқа жатпайтын басқа көптеген түрлі классификацияларды қолдана отырып, (мысалы, айыптау, қорлау және т.б.) сызықтық ядросы бар тірек векторлық машинаны (SVM) пайдалануды ұсынды.

Әлеуметтік желі сайттарының трансформациялық потенциалы өзімен бірге көптеген қиындықтарды әкеледі, олардың кейбіреулері адамдар және белгілі бір топтар үшін зиянды болуы мүмкін [5]. Бұл қиын жағдай өзін жан-жақты көрсетеді, соның бірі – интернетте өшпенділік сөздердің таралуы үлкен алаңдаушылық пен арандатушылық туғызатынын байқауға болады. Тұрғылықты жері, ұстанымы, діни сенімі және экономикалық жағдайына қарамастан кез - келген адам кемсітушіліктің бірнеше түріне ұшырауы мүмкін. [1]

Сонымен қатар, ғадауат тілді сөздердің не екенін анықтау үшін бірқатар зерттеу жұмыстары жүргізілді және баспа беттеріне жарияланды. Тиісті корпустар оңай қол жетімді болғандықтан, ғадауат тілді сөздерді зерттеудің басым көпшілігі ағылшын тіліндегі деректерді пайдалана отырып жүргізілді. Дегенмен, соңғы жылдары қазақ, голланд және индонезия тілдеріндегі өшпенділік сөздерін анықтау үшін бірнеше зерттеулер жүргізілді.

Кейбір жағдайларда кілт сөзге негізделген әдістерді пайдаланушылардан немесе жеккөрінішті деп саналатын беттерден, яғни қорлау немесе кемсіту элементтерді табу мүмкіндігі болған кезде немесе даулы тақырыптардағы пікірталас форумдары беттерінен ғадауат тілді мазмұнды сөз тіркестерін табу ықтималдығы жоғары деп берілген.

Басқаша айтқанда, ғадауат тілді мазмұнды пікірлерді табу ықтималдығы артады. Бұл әртүрлі адамдар тобынан материал жинаумен байланысты шектеулерді ескере отырып жасалады. Зерттеушілер қорлайтын және кемсіту сөз тіркестері кездесетін пікірлерді жинау үшін біріктірілген стратегияны қолданды. Бұл әдіс ғадауат сөздер жазатын аккаунттарды бақылауды, анықталған аккаунт иелерінің тарихын жүктеп алуды және онлайн контенттегі посттарды кілт сөздермен сүзуді қамтиды. Табылған пікірлер осы тәсіл арқылы жиналды. Кейбір жағдайларда, бір аккаунттан барлық мәліметтер қоры жиналды деген болжам келтірген. Мұндай санаттау пікірлерге белгілі бір дереккөзден жиналған барлық элементтерді ғадауат тілді хабарламалар деп санауға болады деген болжамға негізделген. [6]

Зерттеу әдістері. Веб-ресурстардағы ғадауат тілді пікірлерді анықтау үшін ең алдымен машиналық әдістерді оқыту және сынау үшін қазақ тілінде корпус құру.

Зерттеудің бастапқы кезеңінде ғадауат тілді мәтіндермен қатар өшпенділік белгісі жоқ мәтіндерді корпуста жинақтау жоспарланған. Ғадауат тілді мазмұндағы мәтінге *дискриминация* (адам құқығын шамадан тыс бейәдеп сөздер арқылы шектеу), *қорлау*

тілі (жағымсыз сөздер арқылы кемсіту, қорлық көрсету), кибербуллинг (интернет желісінде адамды қорлау немесе қудалау), экстремизм (саяси және діни бағыттағы шектен шыққан жағымсыз пікірмен бөлісу) және радикализм (өмір сүріп отырған саяси органы сөзбен сынға алу) кіретінін көруге болады.

Өшпенділік белгісі кездеспейтін санатқа жататын мәтіндерге түрлі құттықтаулар, жан – жануарлар атауын жануарларға қатысты қолдану, қорқыту немесе кемсіту белгілері кездеспейтін пікірлер мен хабарламалар тізбегі, түрлі жарнамалық спамдар және т.б.

Зерттеудің басында онлайн ресурстардан ғадауат тілді мәтіндерді іздеу жұмыстары жүргізілді. Қазақ тіліндегі бейәдеп тілді пікірлер тізбегі Instagram әлеуметтік желісіндегі қазақ тілді аудиториясы бар блогерлер, әншілер, танымал тұлғалар аккаунттарынан ерікті аннотатор яғни, нақты бір мақсатта онлайн – іздеуші қазақ тілді ғадауат сөздерден тұратын мәтіндер жинады. Дегенмен, жиналған деректер қоры тек бір немесе екі – үш сөзден тұратын мәтіндер тізбегі ретінде жинақталған. Мысалы, «мал», «шошқа сияқты», «ешак екен» деген сөз тіркестері машиналық оқыту жүйесін үйрету жеткіліксіз болды. Мысалы, «мал» сөзінің мағынасы әр түрлі мазмұнда қолданылуы мүмкін, ол «мал азығы қораға жеткізілді» және «мал екені айтпай –ақ көрініп тұр» деген сөйлемдерде «мал» сөзін ғадауат сөздер қатарына косуда немесе қоспай қалдыруда машиналық оқытуда қаттелікке ұрынады. Сондықтан, онлайн парсинг және ерікті аннотатор арқылы Facebook- тегі қазақ тілді қауымдастықтар мен аккаунттар және Youtube платформаларынан үш немесе одан да көп сөздерден тұратын бейәдеп мазмұнды 10224 сөйлемдер жинақталды.

data hate speech -kazakh 10k.xlsx		A	B
		Қалмақ шалды пір тұтып жүргендер кезінде шалдың арқасында билікке, байлыққа қол жеткізгендер. Олардың : „Бізге егемендікті алып берген Назарбаев” дегенін естігенде есіңнен танып қала	
10027	жаздайсың. Құлдық сана оңайшылықпен өзгермейді екен.	Бұл адамның дінге ешқандай қатысы жоқ, мұсылмандар қауымдастығы деген қоғамды өзі ашып алған замованец, немен айналысатынын ешкім білмейді, әйтеуір ұсталған екен оңбаған, тексеру	1
10028	керек қай жердің жансызы екенін	Мына малдарға заң жоқпа күннен күнге өршіп баратыр,билік қайда қарап отыр бұларды ату жазасына берсе көрер едік ойларына келгенді жасағандарын.Сәбилерге өмір сүруге мүмкіндік	1
10029	бермеген қайюандар.	Кішкентай қыздың өмірін құртқан педофилдерге ату жазасын беру керек.Неге Заң қатаң	1
10030	Болмайды.Ату жазасын берсін.Өлтіру керек педофилдерді.Сонда педофил дегендер болмайды.		1
10031	Обалай ату керек ондаймағұлынды		1
10032	Жанболат бостандыққа шықсын . Назарбаевпен Тоқаев қамалсын !	Шахмат деген ақыл ойдың ойыны емеспе, оған бәлендей жатықтырушыныңда қажеті шамалы сияқты, бейшара мен Мәскеуде тұрам дегенді дәреже көріп жүргенде, қазіргі саяси жағдайда Мәскеуіңе итте саруға жиіркенеді, орыстың қазаққа деген көзқарасыда жақсы емес, скинхэдтер былай тұрсын жәй орыстар оңаша кезігіп қалса айыратыны айдан анық дәлділің шығып	1
10033	жезөкшелікке түсіпкетпесең болар әйтеуір.	Кілең ұрылар отыр билікте,яғни бұндай қаражатты қайдан алды???.....	1
10034	Назарбаевтың ұры жүйесі қарапайым халықтың жүйкесін жұқартты	Керісінше бұл сатқын қазақтың төлқұжатын өткізсін. Дені сау болса, алдымен неге қашып кетті? Қара басын қорғаштап қашты. Одан әрі құрысын. Қазақты ойламаған, Отанын сатқындардың жазасы	1
10035	ауыр		1
10036	Қазақтар сігіп жіберер ашуна тисек деген шығар 🤔		1
10037	Провакатор группа сияқтығой бұл тупой админ нацист		1
10038	Сеннин ебальнигинен пил тепкен мени бузау тепсе	Өңкей еріншек, жалқаулар ғой мына тізім жасаған прокурорлар. Жөнді тізім жарты жылда жасауға	1
10039	да жарымады		1
10040	Тоқаев кыра салыпты ғой. Кудайынан қорыспаған бале		1

Сурет 1 – Ғадауат тілді пікірлер үлгісі

1) *адамның бойы бойынша*, демек бойының ұзындығын немесе қысқалығын басшылыққа ала «отырып, сөз арқылы жәбір көрсету, мысалы, «мыртыған қортық», «бойы сорайған керік» деген сияқты сөз тіркестері кездеседі.

2) *жасы бойынша (эйджизм)* – адамның жасына байланысты алалау, егде жастағы адамдарды, кішкентай балаларды кемсітуде жиі қолданылатынын байқауға болады. Мысалы, «кәрі кемпір», «кәрі қарға», «алжыған қақпас», «қаршадай болып бәлесін қарашы» деген сияқты сөз тіркестері кездеседі.

3) *касталық дискриминация* – белгілі бір тұрғылықты жердегі адамдарды, шығу тегіне немесе санының аз болуына қарай қоғамдық топтарды құқығын шектеу немесе бөлу, мысалы, солтүстік тұрғындарын «орыстар», «мәнгүрттер», оңтүстік тұрғындарын «ежиктер» деген сияқты сөз тіркестерін кездестіруге болады.

4) *мамандығына немесе жұмыс сферасы бойынша дискриминация*, қандай да бір мамандық иесін кемсіту, мысалы әншілерді «секеңдеген ешкі» немесе дәрігерлерді «қолына ақша бермесең өлгеніңмен жұмысы жоқ», сонымен қатар «топастар ғой, дипломын сатып алған» деген мағынадағы сөз тіркестерін кездестіруге болады.

5) *эйлизм немесе дисаблизм* – адамдарды мүгедектік сипатына немесе физикалық ерекшеліктері бойынша алалауды жатқызуға болады, мысалы «кеміс», «жынұрған», «топас», «құбыжық» деген сөздер топтамасын осы бөлімге жатқызуға болады.

6) *расизм* – этникалық шығу тегіне және нәсіліне қарай адамдарды бөліп қарау. Нәсілшілдер адамның түр – түсіне, өзін-өзі ұстау ерекшелігі мен жүріп-тұру әдебіне қарай оны өзгелерден бөліп көрсетуге, басқаша екенін кемсіту арқылы дәлелдеуге тырысады, мысалы «өзбек», «сарт», «кәпір», «орысқұл», «шошқақұл», «арапқұл» деген сөз тіркестерінен тұратын сөйлемдерді кездестіруге болады.

7) *діни сенімі бойынша дискриминацияда* адам өзі сенетін және ұстанатын дінін басқалардан жоғары қояды, яғни өзге дінді ұстанатындарды төмендетіп, алалауға тырысады, «исламистер», «арапқұлдар», «кәпірлер» деген сөз тіркестерінен байқауға болады.

8) *сексизм* – адамды жынысына байланысты бөліп, бірінен екіншісін артық қою. Гендер теңсіздігімен байланыстыруға болады. Сексизм — әйел мен ер адамдарды жынысына қарай алалау, күші мен құқығын тең етіп қабылдау, мысалы «гейлер», «лесбилер», «қатын екенсің» деген ғадауат тілді сөздер бар сөз тіркестерін байқауға болады.

9) *гетеросексизм немесе гомофобия* – жыныс ориентациясына қарай қоғамнан қорлану, мазаққа ұшырау және құқығы шектелуі.

10) *сөйлеу тілі бойынша кемсіту* бір тілде ғана сөйлейтін немесе қандай да бір тілде сөйлей алмайтын адамды кемсіту мен алалау. [7]

Зерттеу нәтижелері. Жоғарыдағы жұмыстың нәтижесінде а) онлайн парсингтер көмегімен және аннотатор көмегімен «Instagram» әлеуметтік желісінен, «Youtube» және Facebook әлеуметтік желілердегі қазақ тілді желі қолданушылар парақшалары мен топтарынан мәтіндік деректер жиналды; б) мәтіндерді «ғадауат тілді» және «нейтральды тексттер» деп екі сыныпқа қолмен жіктеу жасалды; в) модельді одан әрі оқыту үшін корпус құрылды; г) ғадауат тілді және ешқандай өшпенділік сипаты кездеспейтін мәтіндердің, сөздердің бұлттарының таралуын пайдалана отырып, корпусқа талдау жүргізіліп, ғадауат тілді мазмұндағы мәтіндердің ерекшеліктері анықталды.

Ғадауат тілді пікірлерді анықтауда терең оқытуды қолдану. Терең оқыту эмоцияларды талдау, мәтінді жіктеу және автоматты аударма сияқты табиғи тілді өңдеу (NLP) тапсырмалары үшін өте қолайлы. Мәтінді жіктеу үшін біз терең оқытудың келесі әдістерін қолданамыз: Конволюционды нейрондық желі (CNN) және LSTM қайталанатын нейрондық желі. Терең оқыту эмоцияны талдау, мәтінді жіктеу және машиналық аударма сияқты табиғи тілді өңдеу (NLP) тапсырмалары үшін өте қолайлы. Мәтінді жіктеу үшін біз терең оқытудың келесі әдістерін қолданамыз: *Конволюционды нейрондық желі (CNN) және LSTM қайталанатын нейрондық желі.*

Жинақталған деректер қорын сүзу үшін келесі алгоритм қолданылды:

- барлық таңбаларды бір регистрге келтіру және қосымша таңбаларды алып тастау,
- тоқтату сөздерді алып тастау (стоп - слова),
- штрихтау мен лемматизацияны орындау;
- лексемалау үлгісін (мәтінді сөздерге – лексемаларға бөлу) және сөздердің n-граммалық үлгісін (лексемадағы мүмкін сөздердің санын) көрсету.

Нейрондық желілер тек сандық деректердегі үлгілерді табуды үйрене алады, сондықтан нейрондық желіге енгізу ретінде мәтінді енгізбес бұрын, біз әрбір сөзді сандық мәнге түрлендірдік. Бұл процесс сөзді кодтау немесе токенизация деп аталады.

Токенизация үшін сөздерді ендіруді қолданылды, бұл әдіс сөздерді тығыз сөз векторлары ретінде көрсетеді (сондай-ақ сөзді ендіру деп аталады). Бұл «енгізу» сөзі көп ақпаратты аз өлшемдерге жинайтынын білдіреді. Олардың мақсаты – геометриялық кеңістікте семантикалық мағынаны көрсету. Бұл геометриялық кеңістік кірістіру кеңістігі деп аталады. Бұл сандар немесе түстер сияқты ұяшық кеңістігіне жақын мағыналық ұқсас сөздерді көрсетеді.

Деректерді таңбалау үшін Керастағы Tokenizer утилитасы қолданылды, ол мәтіндік корпусты бүтін сандар тізіміне векторлай алады.

```
from keras.preprocessing.text import Tokenizer
from keras.preprocessing.sequence import pad_sequences
from keras.preprocessing import text, sequence

tokenizer = Tokenizer(num_words=20000)
tokenizer.fit_on_texts(list(X_train))

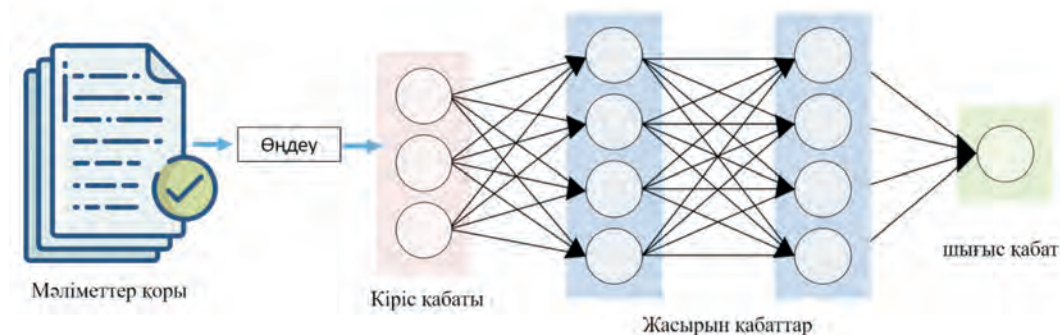
X_train = tokenizer.texts_to_sequences(X_train)
X_test = tokenizer.texts_to_sequences(X_test)

X_train = sequence.pad_sequences(X_train, maxlen=200)
X_test = sequence.pad_sequences(X_test, maxlen=200)

print('X_train shape:', X_train.shape)
print('X_test shape:', X_test.shape)
```

Токенизаторда екі параметр қолданылды: сөздік өлшемін орнатуға жауап беретін `num_words` және сөздер тізбегін нөлмен толтыратын `pad_sequence()`, ол параметрі мәтін тізбегіндегі әртүрлі ұзындықтағы сөздердің мәселесін шешу үшін қолданылады. Сөздік өлшемін орнатуға жауапты `num_words` параметрі қосылды. Сөз_санының мәнін 2000 мәніне орнатылды. Зерттеу мәселесінің бірі әрбір мәтін тізбегінің көп жағдайда сөз ұзындығының әртүрлі болуы. Ал реттіліктердің қаншалықты ұзақ болуы керектігін көрсету үшін `maxlen` параметрі қосылды. Бұл осы саннан асатын тізбектерді қысқартады. [8]

Мәтінді жіктеу үшін терең оқыту моделін құру. Нейрондық желіде кіріс қабаты, жасырын қабат және шығыс қабаты сияқты бірнеше терминдерді кездестіруге болады. Сонымен, терең оқыту архитектурасы мен нейрондық желінің архитектурасы арасындағы айырмашылық жасырын қабаттардың саны болып табылады. Қарапайым нейрондық желіде тек 1 жасырын қабат болса, Deep Learning-те 1-ден көп жасырын қабат бар екендігін төмендегі Сурет 3 – тен байқауға болады.



Сурет 3 – Терең оқыту моделінің архитектурасы

Ең алдымен кіріс нейрондарының қабатынан басталады, онда функция векторларын енгізіп, содан кейін мәндер жасырын қабаттарға ауыстырылады. Әрбір қосылымда мән алға жіберіледі ал мән салмаққа көбейтіледі және мәнге ығысу қосылады. Бұл әрбір қосылымда орын алады және соңында шығыс қабатының мәні алынады. Шығыс деңгейі бір немесе бірнеше шығыс түйіндерінен тұрады. Біздің жағдайда, бір түйін, себебі екілік классификациясы орындалады.

Нейрондық желі формуласы: әрбір шығыс түйінінің мәндерін есептеу үшін біз әрбір кіріс p түйінін W салмағына көбейтіп, b қиғаштығын қосу қажет. Содан кейін мұның барлығын қорытындылап, f функциясына беру керек. Бұл функция белсендіру функциясы болып саналады және әртүрлі функциялар бар. Әдетте жасырын қабаттар үшін түзетілген сызықтық блок (ReLU), екілік классификация есепіндегі шығыс қабат үшін сигма тәрізді функция немесе көп класты жіктеу есептерінің шығыс қабаты үшін `softmax` функциясы қолданылады. Сигма тәрізді функцияны қолданамыз. Алгоритм салмақтарды кездейсоқ мәндермен инициализациялаудан басталады, содан кейін олар кері таралу деп аталатын әдіспен оқытылады. Бұл есептелген және қажетті нәтиже (сонымен бірге мақсатты нәтиже деп аталады) арасындағы қатені азайту үшін

градиенттің түсуі сияқты оңтайландыру әдістері (оңтайландырушы деп те аталады) арқылы орындалады. Қате жоғалту функциясымен анықталады, оның жоғалуын келесі зерттеулерде оптимизатордың көмегімен азайтуға болатындығын көрсетуге болады. [9]

Талқылаулар. Осылайша, бұл зерттеуде әлеуметтік желілердегі ғадауат сөздерге қатысты мәтінді анықтаудың ұсынылатын әдісі түсіндірілді, онда деректерді алу, n-грамды анықтау, мәтінді токенизациялау, тоқтау сөздерді жою сияқты әртүрлі әдістерді қолдану арқылы деректерді тазалау сияқты әртүрлі қадамдарды пайдалана отырып, нәтижесінде алдын ала өңделген мәтіндерді алу.

Келесі қадам ретінде, ғадауат тілді қазақша сөйлемдер корпусын оқу деректер жинағы және сынақ (тест) жинағы ретінде екі бөлікке бөлінеді. Ұсынылған деректер жинағы 10224 сөйлемнен тұрады. Олардың 7683-і (75%) үлгілерді оқытуға, 2556-і (25%) үлгіні тексеруге арналған.

Сонымен қатар, өз алдына зияны жоқ көптеген идиомалар бар; дегенмен, егер оларды тиісті контексте қолданылса, олар қорлау, кемсіту тілдер қатарына жатуы мүмкін [10]. Дегенмен, ғадауат тілдерді қолдану жағдайында да әртүрлі желі қолданушылардан әр түрлі дәрежедегі құқық бұзушылықтары болмауы мүмкін емес [11], сонымен бірге іс – әрекеттер, сондай-ақ бір терминнің түрлі деңгейде қолданылуына байланысты әр уақытта өзгеруі мүмкін.

Қорытындылай келе, ғадауат сөздерін коммуникацияның басқа түрлерінен ерекшелендіретін санаттау үлгісін әзірлеуге қол жеткіздік. Бұған қоса, классификациялық модельдерімізді оқытуға енгізілген мәтіндік мүмкіндіктерді жасадық. Біздің соңғы жіктеу үлгіміз әлеуметтік медиа сайттарында ғадауат сөздерін анықтау үшін машиналық оқытуды қолдануға бола ма деген сұраққа жауап берді. Қолданыстағы зерттеулерге қатысты белгілі бір терминдердің ғадауат тілді сөздерді мен бейәдеп мағынасы жоқ сөйлеу коммуникацияларын ажырату үшін маңызды екендігі танылды. Кемсіту хэштегімен белгіленген твиттерде гомофобиялық, нәсілшілдік және сексистік пікірлер бар. Бұл кемсіту мен қорлайтын хабарламаларды анықтауды жеңілдетсе де, егер олар стандартты жек көретін сөздерді қамтымаса, алгоритм фразаларды қате жіктеуі мүмкін. Осы деректерден шығатын тағы бір қорытынды: ғадауат тілді сөздер белгілі бір адамға, белгілі бір топқа бағытталған болуы мүмкін немесе ешқандай мақсатсыз қолданылуы мүмкін.

ӘДЕБИЕТ

1 Gröndahl, T., Pajola, L., Juuti, M., Conti, M., & Asokan, N. (2018, January). All you need is» love» evading hate speech detection. In Proceedings of the 11th ACM workshop on artificial intelligence and security (pp. 2-12).

2 Rohmawati, U. A. N., Sihwi, S. W., & Cahyani, D. E. (2018, November). SEMAR: An interface for Indonesian hate speech detection using machine learning. In 2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI) (pp. 646-651). IEEE.

3 TOKTAROVA, A., IZTAEV, Z., KOZHABEKOVA, P., SUIEUOVA, N., OPONDO, R. O., KERIMBEKOV, M., & ZHUNISBEKOVA, Z. (2022). AUTOMATED HATE SPEECH CLASSIFICATION USING EMOTION ANALYSIS IN SOCIAL MEDIA USER GENERATED TEXTS. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 100(22).

4 Omar, A., Mahmoud, T. M., & Abd-El-Hafeez, T. (2020, April). Comparative performance of machine learning and deep learning algorithms for Arabic hate speech detection in osns. In *The International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision* (pp. 247-257). Springer, Cham.

5 Arango, A., Pérez, J., & Poblete, B. (2020). Hate speech detection is not as easy as you may think: A closer look at model validation (extended version). *Information Systems*, 101584.

6 Sultan, D., Suliman, A., Toktarova, A., Omarov, B., Mamikov, S., & Beissenova, G. (2021, January). Cyberbullying Detection and Prevention: Data Mining in Social Media. In *2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)* (pp. 338-342). IEEE.

7 Nayel, H. A., & Shashirekha, H. L. (2019, December). DEEP at HASOC2019: A Machine Learning Framework for Hate Speech and Offensive Language Detection. In *FIRE (Working Notes)* (pp. 336-343).

8 Sultan, D., Toktarova, A., Zhumadillayeva, A., Aldeshov, S., Mussiraliyeva, S., Beissenova, G., ... & Imanbayeva, A. (2023). Cyberbullying-related hate speech detection using shallow-to-deep learning. *CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA*, 74(1), 2115-2131.

9 Ibrohim, M. O., & Budi, I. (2019, August). Multi-label hate speech and abusive language detection in Indonesian twitter. In *Proceedings of the Third Workshop on Abusive Language Online* (pp. 46-57).

10 Toktarova, A., Beissenova, G., Kozhabekova, P., Makhanova, Z., Tulegenova, B., Rakhymbek, N., ... & Azhibekova, Z. (2021). Automatic offensive language detection in online user generated contents. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(9), 2054-2067.

11 K. Kumari, J. P. Singh, Y. K. Dwivedi and N. P. Rana, "Bilingual cyber-aggression detection on social media using LSTM autoencoder," *Soft Computing*, vol. 25, no. 14, pp. 8999–9012, 2021

REFERENCES

1 Gröndahl, T., Pajola, L., Juuti, M., Conti, M., & Asokan, N. (2018, January). All you need is" love" evading hate speech detection. In *Proceedings of the 11th ACM workshop on artificial intelligence and security* (pp. 2-12).

2 Rohmawati, U. A. N., Sihwi, S. W., & Cahyani, D. E. (2018, November). SEMAR: An interface for Indonesian hate speech detection using machine learning. In *2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)* (pp. 646-651). IEEE.

3 TOKTAROVA, A., IZTAEV, Z., KOZHABEKOVA, P., SUIEUOVA, N., OPONDO, R. O., KERIMBEKOV, M., & ZHUNISBEKOVA, Z. (2022). AUTOMATED HATE SPEECH CLASSIFICATION USING EMOTION ANALYSIS IN SOCIAL MEDIA USER GENERATED TEXTS. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100(22).

4 Omar, A., Mahmoud, T. M., & Abd-El-Hafeez, T. (2020, April). Comparative performance of machine learning and deep learning algorithms for Arabic hate speech detection in osns. In *The International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision* (pp. 247-257). Springer, Cham.

5 Arango, A., Pérez, J., & Poblete, B. (2020). Hate speech detection is not as easy as you may think: A closer look at model validation (extended version). *Information Systems*, 101584.

6 Sultan, D., Suliman, A., Toktarova, A., Omarov, B., Mamikov, S., & Beissenova, G. (2021, January). Cyberbullying Detection and Prevention: Data Mining in Social Media. In *2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)* (pp. 338-342). IEEE.

7 Nayel, H. A., & Shashirekha, H. L. (2019, December). DEEP at HASOC2019: A Machine Learning Framework for Hate Speech and Offensive Language Detection. In *FIRE (Working Notes)* (pp. 336-343).

8 Sultan, D., Toktarova, A., Zhumadillayeva, A., Aldeshov, S., Mussiraliyeva, S., Beissenova, G., ... & Imanbayeva, A. (2023). Cyberbullying-related hate speech detection using shallow-to-deep learning. CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA, 74(1), 2115-2131.

9 Ibrohim, M. O., & Budi, I. (2019, August). Multi-label hate speech and abusive language detection in Indonesian twitter. In Proceedings of the Third Workshop on Abusive Language Online (pp. 46-57).

10 Toktarova, A., Beissenova, G., Kozhabekova, P., Makhanova, Z., Tulegenova, B., Rakhymbek, N., ... & Azhibekova, Z. (2021). Automatic offensive language detection in online user generated contents. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 99(9), 2054-2067.

11 K. Kumari, J. P. Singh, Y. K. Dwivedi and N. P. Rana, "Bilingual cyber-aggression detection on social media using LSTM autoencoder," Soft Computing, vol. 25, no. 14, pp. 8999–9012, 2021

**А. Б. ТОКТАРОВА¹, Б. С. ОМАРОВ², Ж. Ж. АЖИБЕКОВА³,
А. Н. ЖАКСАНОВА⁴, Р. Б. АБДРАХМАНОВ⁵**

¹Международный казахско-турецкий университет им. Ходжа Ахмета Ясауи,
Туркестан, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова,
Алматы, Казахстан

⁴Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауезова,
Шымкент, Казахстан

⁵Международный университет туризма и гостеприимства, Туркестан, Казахстан

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОСКОРБИТЕЛЬНЫХ СЛОВ ПО «ЭМОЦИОНАЛЬНЫМ» КОММЕНТАРИЯМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СЕТИ

В последние годы язык ненависти в Интернете получил широкое распространение в результате легкости, с которой любое онлайн-мнение может быть представлено в социальных сетях. Эта тенденция в основном связана с быстрым ростом мобильных устройств, компьютеров и Интернета. Существует большой интерес к исследованиям по автоматическому обнаружению ненормативной лексики. Тем не менее, существует еще мало исследований о том, могут ли сайты социальных сетей помочь в выявлении преступлений на почве ненависти и связанных с ними сообществ. Плохие мнения негативно сказываются на психическом уровне любого человека. Однако некоторые люди более склонны к эмоциональной нестабильности, чем другие. Расовым или этническим группам, язык которых не пользуется популярностью, сложно автоматически собирать и оценивать тексты, созданные в Интернете. В этой статье с использованием методов искусственного интеллекта в обработке текста и обработки естественного языка впервые была собрана база данных с использованием различных ключевых слов для выявления оскорбительных слов в социальных сетях. Во-вторых, алгоритмы машинного обучения использовались для классификации текстов по нескольким категориям.

Ключевые слова: оскорбительные слова, машина обучение, глубокое обучение, алгоритм, корпус, аккаунт.

**A. B. TOKTAROVA¹, B. S. OMAROV², ZH. ZH. AZHIBEKOVA³,
A. N. ZHAXANOVA⁴, R. B. ABDRAKHMANOV⁵**

¹*Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh – Turkish University, Turkistan, Kazakhstan*

²*AL-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

³*Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Republic of Kazakhstan*

⁴*Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

⁵*International University Of Tourism And Hospitality
Turkestan, Kazakhstan*

AUTOMATED OFFENSIVE LANGUAGE CLASSIFICATION THROUGH “EMOTIONAL” COMMENTS FROM NETWORK USERS

In recent years, online hate speech has become widespread as a result of the ease with which any online opinion can be presented on social media. This trend is mainly due to the rapid growth of mobile devices, computers and the Internet. There is a lot of interest in research on automatic hate speech detection. However, there is not a lot research on whether social networking sites can help identify hate crimes and related communities. Hate speech has a negative impact on the mental level of any person. However, some people are more prone to emotional instability than others. It is difficult for racial or ethnic groups whose language is not popular automatically collecting and evaluate texts created on the Internet. In this article, using artificial intelligence techniques in text processing and natural language processing, for the first time, a database was collected using various keywords to identify offensive words in social networks. Second, machine learning algorithms have been used to classify texts into multiple categories

Key words: *offensive language, machine learning, deep learning, algorithm, corpus, account*

Б. Е. ЯГАЛИЕВА^{1*}, В. А. ЛАХНО², К. К. МАКУЛОВ¹

¹Есенов университеті, Ақтау қ., Қазақстан

²Украина биоресурстар және табиғатты пайдалану ұлттық университеті,
Киев қ., Украина

ҚОРҒАНЫС ЖАҒЫНДАҒЫ ҚАТЕРЛЕР МЕН РЕСУРСТАРДЫҢ БҰЛДЫР ЖИЫНТЫҒЫМЕН КИБЕРҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАРЖЫЛАНДЫРУДЫҢ АДАПТИВТІ МОДЕЛІ

Мақалада шабуылдаушы тараптың қаржылық ресурстары туралы толық ақпараты жоқ ақпараттандыру объектісінің киберқауіпсіздік құралдарын қаржыландыру стратегияларын таңдаудың адаптивті моделі ұсынылған. Жағдай қорғаныс тарапының қаржылық ресурстары бұлдыр жиынтыққа жатқанда қаралады. Модель ақпараттық қауіпсіздік жүйелеріне инвестициялаудың ұтымды нұсқаларын таңдау міндеттерінде шешімдерді қолдау жүйесіне арналған. Шешім бірнеше терминалды беткейлері бар көпқадамды ойындар теориясының құралдарын қолдану негізінде алынды. Шешімдерді іздеу үшін бірнеше терминал беткейлері бар бейтарап жүрістермен сызықты емес көпқадамды ойын аппараты қолданылды. Ақпараттандыру объектісінің қауіпсіздігі кездейсоқ сипаттағы киберқауіптерді жүзеге асырумен байланысты зиян негізінде анықталады. Ақпараттық объектілер қауіпсіздік индикаторы қауіптер жиынтығының қауіптілік коэффициенті мен ақпараттық объекті қауіпсіздік дәрежесі арасындағы анық емес қатынастар матрицасы арқылы анықталады. Модель қорғаныс жағында шабуылдаушы тараптың қаржылық стратегиялары туралы да, оның ақпаратты қорғаудың шекараларын еңсеруге бағытталған оның қаржылық ресурстарының жағдайы туралы да толық ақпарат жоқ деген болжаммен ерекиеленеді. Қорғаныс жағы өзінің қаржылық ресурстарының бір бөлігі есебінен қосымша ақпарат алуға мүмкіндігі бар деп болжануда. Модельдің өнімділігі есептеу экспериментінің көмегімен тексерілді, және оның нәтижелері мақалада көрсетілген.

Түйін сөздер: ақпаратты қорғау, ақпараттандыру объектісі, ойын теориясы, қаржылық стратегия, түсініксіз жиынтықтар, қосымша ақпарат алу тәртібі, шешімдерді қолдау жүйесі.

Кіріспе. Бүгінгі таңда кез-келген ақпараттандыру объекті (АО) өзінің ақпараттық ресурстарын қорғауды қажет етеді. Қазірдің өзінде барлық ақпараттық объектілер (АО) мен олардың ақпараттық жүйелерін (АЖ) жобалау кезеңінде бюджетке тиісті ақпараттық қорғау жүйелерін (АҚЖ) және ҚрҚ құру немесе жаңарту үшін қаражат бөлінеді. Сонымен қатар, біз ақпараттандыру объекті неғұрлым күрделі болғанын атап өтеміз, мысалы, университеттік ақпараттық жүйесін [1] банкті [2] қорғауды салыстырсақ, сәйкесінше киберқауіпсіздік контуры қорғау жағында болуы керек [3, 4].

Қазіргі заманғы АҚЖ және ҚрҚ – бұл антивирустық бағдарламалық жасақтаманы, файрволдар, желідегі шабуылдар мен ауытқуларды анықтауға арналған жүйелерді, криптографиялық қосымшаларды және т.б. қамтитын кешендер [1, 3, 4].

Ақпараттық объектілерге немесе аса маңызды сыни компьютерлік жүйелерге кибер шабуылдардың сценарийлері күрделене түскендіктен, киберқауіпсіздік құралдары мен жүйелерін таңдау үшін қорғаныс жағында дәстүрлі стратегияларға негізделген ақпараттық қауіпсіздік жүйелерінің кешендері мен контурларының аппараттық-

* E-mail корреспондирующего автора: bagdat.yagaliyeva@yu.edu.kz

бағдарламалық құрамын алдын-ала қалыптастыру қиынға соғып жатқанын ескереміз. Қорғаныс жағы киберқауіптердің ландшафтының өзгеруін динамикалық түрде ескеруі қажет болатын нақты жағдай болып шығуы мүмкін, бұл ақпараттық объектінің қорғаныс контурларын қайта қарау немесе қайта конфигурациялау қажеттілігіне әкеледі. Бұл, өз кезегінде, жаңа фэйрволды, кіруді анықтау жүйелерін және сол сияқтыларды сатып алуға қосымша қаржылық шығындармен байланысты. Бұлдыр қауіпті қауіптер мен жаңа қауіптер мен шабуыл сценарийлерінің пайда болу тенденциясын ескере отырып, киберқылмыскерлерге қарсы стратегияның қаржылық құрамын таңдау мәселесін шешу динамикалық міндет деп айта аламыз. Сонымен бірге нақты жағдайларда қорғаныс жағының көптеген ресурстары бұлдырлықтың белгілі бір параметрлеріне сәйкес келеді деп айтуға болады.

Өздеріңіз білетіндей, көп жағдайда нақты физикалық әлемде кездесетін объектілер кластарында мүшелік критерийі дәл анықталмаған. Сонымен бірге, дәл осындай анықталмаған «сыныптар» адамның ойлауында, атап айтқанда, информатика, кибернетика, жасанды интеллект, заңдылықты тану, ақпарат беру және абстракциялау және басқа да салаларда маңызды рөл атқаратындығы даусыз факт.

Буылдыр жиынның тұжырымдамасы көптеген жиынтықта қарапайым жиынтықтарда қолданылатындарға параллель болатын, бірақ соңғыларына қарағанда жалпы, ал кеңірек болуы мүмкін тұжырымдамалық негіздерді құруға ыңғайлы бастама болатындығын ескеру қажет. Атап айтқанда, бұл келесі салаларға қатысты: суреттерді жіктеу; мәліметтерді өңдеу; ойын теориясы және т.б.

Маңыздысы, мұндай құрылымдар кездейсоқ шамалардың болуына емес, сыныпқа кірудің нақты анықталған критерийлерінің болмауына байланысты болатын дәлсіздік көзі есептерді шешудің табиғи әдісін ұсынады. Сондықтан, осы мақалада қарама-қайшылықты сипаттағы мәселелерді шешуге тырысады және онда ақпараттың толық еместігі стохастикалық сипатта болмайды, бірақ бұлыңғыр жиындар берген анық емес ақпарат сипатына ие болады.

[4-6]-де кешенді КрҚ пен АҚЖ құрудағы негізгі мәселелердің бірі АО үшін КрҚ пен АҚЖ инвестициялаудың ұтымды стратегиясын таңдау екендігі көрсетілген. Ақпараттандыру объектісі үшін киберқауіпсіздік міндеттері саласындағы [6, 7] шешімдерді қабылдауды қолдау интеллектуализациясының соңғы жылдары қалыптасқан тенденциясы осындай жүйелер үшін әлі шешілмеген мәселелерге жаңаша көзқараспен қарауға мүмкіндік берді. Атап айтқанда, АҚЖ және КрҚ қаржыландырудың ұтымды стратегияларын таңдаудың жаңа модельдерін әзірлеу міндеті өзекті болып қала береді. Мысалы, бұл қорғаныс жағы жаңа бұзу технологиялармен бетпе-бет келуі мүмкін жағдайларда қажет. Бұл өз кезегінде ақпараттандыру объектісі үшін киберлік тәуекел деңгейлерін өзгертеді. Сондықтан, сайып келгенде, қорғаныс тарабы ұтымды стратегияны таңдау үшін КрҚ пен АҚЖ қаржыландыру стратегияларын қайта қарау қажет болғанда жағдай туындауы мүмкін.

Мақаланың мақсаты – ақпараттандыру объектісінің киберқорғанысын қаржыландырудың ұтымды стратегияларын таңдау бойынша шешімдерді қолдау жүйелерінің моделін жасау.

Мақаланың негізгі материалы. Ақпараттандыру объектісінің қауіпсіздігі кездейсоқ сипаттағы киберқауіптерді жүзеге асырумен байланысты зиян негізінде

анықталады. Бұл жағдайда қауіптілік коэффициенттері ақпараттық қауіпсіздік жүйесінің нақты параметрлерімен корреляцияланады. Бұл параметрлердің бірі - ақпараттық қауіпсіздік жүйесінің баға-сапа қатынасы. Сонымен параметрлер немесе олардың жиынтығы анық емес мәндермен ұсынылады, ал АО қауіпсіздік индикаторы қауіптер жиынтығының қауіптілік коэффициенті мен АО қауіпсіздік дәрежесі арасындағы анық емес қатынастар матрицасы арқылы анықталады.

Ақпараттандыру объектісінде ақпаратты техникалық қорғау құралдарының (АТҚҚ) тиімділігін бағалауға көзқарас АТҚҚ қолданбай қауіпсіздік көрсеткіштерін салыстырмалы талдауға негізделген. Сонымен, біз ақпараттандыру объектісіне антропогендік және техногендік қауіптің қауіптілік дәрежесін анық емес ұсыну шарттары туралы айтып отырмыз. Талдау объектілерінің, қауіп-қатерлердің құрамы мен сипаттамаларының күрделілігінің жоғарылауына байланысты (бірінші кезекте, біз қашықтан рұқсат етілмеген қатерлер туралы айтамыз), ақпараттандыру объектісі мен аса маңызды компьютерлік жүйелердің (АМКЖ) қауіпсіздігін сандық бағалау міндеті өзекті болып табылады. АТҚҚ тиімділігін бағалау келесі тәсілдер негізінде мүмкін: 1) қауіпсіздік көрсеткішінің мәнін нормативпен (шекті) салыстыру; 2) АТҚҚ [7-15] және ақпаратты техникалық қорғау құралдарынсыз салыстыру.

Екі тәсіл де белгілі бір модельдер мен әдістер деңгейінде қолданылады. Тиімділікті кешенді бағалау үшін бірінші тәсіл өте қолайлы емес, өйткені қазіргі заманғы киберқауіптер кешенінен ақпараттандыру объектісі мен АМКЖ қауіпсіздігін төмендетудің қолайлы деңгейлерін анықтау қиын. Екінші тәсіл АТҚҚ шаралары мен құралдарының тиімділігін салыстырмалы талдауда қолданылады және АТҚҚ жеткіліктілігін анықтауға мүмкіндік бермейді.

АО күрделене түсуімен, АҚ пен КрҚ төнетін қатерлер жиынтығы мен сипатының өзгеруімен, әсіресе АМКЖ ресурстар мен процестерге қашықтықтан рұқсатсыз қол жетімділік қатерлерімен, қауіпсіздікті сандық бағалау міндеті өзекті болып табылады. АО мен АМКЖ үшін АМКЖ қауіпсіздігін және киберқорғаныс стратегиясының қаржылық компонентін әзірлеуді дұрыс бағалау мақсатқа және күрделілік деңгейіне ұқсас жүйелерді салыстыру немесе бақылау үшін қажет уақыт бойынша белгілі бір ақпараттандыру объектісінің қауіпсіздік деңгейінің динамикасы.

Практикалық есептерді шешу кезінде қарастырылатын есептің моделін нақтыға дәйекті жақындату процедурасы қолданылады. Тиісінше, қарапайым модель шеңберінде мәселені шешу негізінде нақты проблеманың шешімін табуға болады – АО қорғаныс жүйелерін қаржыландырудың ұтымды стратегиясын анықтау.

Мысалы, [13]-де бірінші ойыншының таңдаулы жиынтықтары табылған және оның оңтайлы стратегиялары табылған жағдайлар қарастырылды. Бұл дегеніміз, егер ойыншылардың күйлері бірінші ойыншының артықшылықтарының жиынтығына жататын болса, онда оның стратегиясы бар, оны жүзеге асыру мақсатына жетуге мүмкіндік береді. Осылайша, берілген ықтималдықпен 1 ойыншы (яғни, ақпаратты қорғаушы - АҚ) жүйені өзі үшін оң нәтиже көрсететін күйге келтіреді. Алайда, жағдай қорғаушыдан ойын ережелерінің стандартты белгілеуін жасай алмайтын мемлекеттерден оған оң нәтиже алу қажет болған жағдайда мүмкін болады. Мысалы, ол өзара әрекеттесу уақытында шектеулі. Содан кейін оларды алудың өзіндік ресурстарының бір бөлігі есебінен қосымша ақпарат алу процедурасын енгізу орынды сияқты.

Бұл процедура, егер ақпараттың толық еместігі стохастикалық немесе анық емес сипаттағы сипатқа ие болса, өте маңызды. Сонымен бірге бұлыңғыр ақпарат шынайы өмірге тән екенін ескеру қажет. Сонымен, сарапшылардың бағалауы жағдайында сарапшылардың тұжырымдарының екіұштылығы сөзсіз, бұл үшін мұндай проблемаларды шешу құралдарын әзірлеу қажет, әсіресе жанжалды жағдайға байланысты белгісіздік қосылса. Тәжірибе көрсеткендей, мұндай жағдайларда тиімді құралдардың бірі ойын теориясын қолдану болып табылады.

Міндеттің қойылуы. Ақпараттық қорғаушыны қаржыландыру проблемасы оның ішкі тапсырманы және қосымша ақпарат алудың тиісті тәртібін енгізе отырып, хакерлік тарапқа қарсы әрекеті шеңберінде қарастырылады. Қосымша ақпаратты АҚ алу үшін ресурстарының бір бөлігін жұмсау есебінен ала алады. Осыған ұқсас зерттеулерден айырмашылығы, жағдай қорғаныстың қаржылық ресурстарына қатысты түсініксіз ақпарат болған кезде қарастырылады.

Есептің шешімі. Белгілі бір уақыт аралығында $\{0, 1, \dots, T\}$ (T – натурал сан), ақпараттық қауіпсіздікке $x(0)$ қаржылық ресурстар бөлінген деп есептейміз. Екінші ойыншы, сәйкесінше $-y^k(0)$.

Бұл ресурстар $t = 0$ уақытында болжанған, ойыншылардың өз мақсаттарына жетуі керек қаржылық ресурстарының көлемін анықтайды. Ойыншылар арасында өзара байланыс бар. Бұл өзара әрекеттесу анық емес ақпаратпен кезектесіп жүретін екі сатылы ойын ретінде сипатталатын болады. Ақпаратты қорғау туралы толық ақпараты бар ойыннан айырмашылығы, екінші ойыншының бастапқы күйі нақты белгісіз.

Алайда, ақпараттық қауіпсіздік екінші ойнатқыштың күйлері анық емес жиынтыққа жататындығы белгілі $\{X, m(\cdot)\}$. Мұндағы анық емес жиынтықтың тасымалдаушысы $[ar, b + r]$ кесіндісі, a, b, r – оң сандар, $b \geq a, a \geq r, b - a \geq 2 \times r$; және $m(\cdot)$ мүшелік функциясы келесідей анықталады:

$$m(x) = \left\{ 0, x \leq a - r, \left(\frac{1}{2 \times r} \right) \times (x - a + r), a - r \leq x \leq a + r, 1, a + r \leq x \leq b - r, \left(-\frac{1}{2 \times r} \right) \times (x - b - r), 0, x \geq b + r; \right\}; \quad (1)$$

Сондай-ақ, бірінші ойыншы біледі:

- 1) тараптардың өзара іс-қимылын анықтайтын бастапқы күй және параметрлер;
- 2) $x(\tau)$ для $\tau \leq t$ үшін оның барлық күйлері $x(\tau)$.

Бірінші ойыншы (АҚ) өзінің қаржылық ресурстарының бір бөлігі есебінен қосымша ақпарат ала алады деп саналады. Бұл бірінші ойыншының ресурсының бөлігін анықтайтын $k(k \in [0, 1])$ параметрін енгізу нәтижесінде пайда болады. Қаржы ресурстарының бұл бөлігі $(1 - k) \cdot z$ тең. Z – бұл ақпарат алу үшін қолданылатын ресурстың мәні (АҚ) деп ойлаймыз. Ақпарат алу үшін пайдаланылатын z – ресурстардың мәні (АҚ) деп ойлаймыз.

Бұл қосымша ақпарат екінші ойыншының (хакердің) y^k күйіне қатысты және $\{Y, m(\cdot)\}$, айқын емес жиынтыққа жатады, мұндағы $Y = [a - k^2r, b + k^2r]$, a, b, r – оң сандар, $b \geq a, a \geq r, b - a \geq 2 \times r$. $m(\cdot)$ – тиесілі функциясы келесідей анықталған:

$$m(x) = \left\{ 0, x \leq a - k^2r, \left(\frac{1}{2 \times k^2r} \right) \times (x - a + k^2r), a - k^2r \leq x \leq a + k^2r, 1, a + k^2r \leq x \leq b - k^2r, \left(-\frac{1}{2 \times k^2r} \right) \times (x - b - k^2r), 0, x \geq b + k^2r; \right\}. \quad (2)$$

Дәлелдеу бірінші ойыншының позициясынан жүзеге асырылады (яғни АҚ). Сондықтан екінші ойыншының (хакердің) сана-сезімі туралы ешқандай болжамдар жасалмайды. Ойыншылардың қадамдары кезек-кезек орын алады. Жұп моментте бірінші ойыншы қадам жасайды, тақ моментте екінші.

$t = 2n$ және $x(t)$, $x(t + 1)$ бірінші ойыншының t , $t + 1$ уақытының моменттеріндегі күйлері болсын. Сондай-ақ t , $t + 1$ уақыттағы моментте екінші ойыншының күйлері. Содан кейін ойыншылардың $t + 1$, $t + 2$ уақытындағы күйлері қатынастардан анықталады:

$$x(t+1) = k(t) \cdot \alpha \cdot x(t) - u(t) \cdot k(t) \cdot \alpha \cdot x(t); \quad y^{\xi}(t+1) = y^{\xi}(t) - s_1 \cdot u(t) \cdot k(t) \cdot \alpha \cdot x(t); \quad (3)$$

$$y^{\xi}(t+2) = \beta \cdot y^{\xi}(t+1) - v(t) \cdot \beta \cdot y^{\xi}(t+1); \quad x(t+2) = x(t+1) - s_2 \cdot v(t) \cdot \beta \cdot y^{\xi}(t+1); \quad (4)$$

Мұнда $u(t), v(t), k(t): u(t) \in [0, 1], v(t) \in [0, 1], k(t) \in [0, 1], s_1 > 0, s_2 > 0$.

$y \leq x$ үшін $F(\cdot): R \rightarrow R, F(x) = \{sup \ sup \ m(y)\}$ функциясын анықтайық (5)

$\{X_t, m_t(\cdot)\}, (t = 0, 1, \dots)$ – екінші ойыншының күйлері осылай анықталған ойыншылар күйінің динамикасына жататын бұлыңғыр жиынтықтармен белгілейік; $y \leq x$ арқылы: $F_t(\cdot): R \rightarrow R, F_t(x) = \{sup \ sup \ m_t(y)\}$.

Ойынның толық сипаттамасын біз [12, 13] жұмысында келтірдік.

Сондықтан, осы мақала аясында біз шабуылдаушы (хакер) қимыл жасағаннан кейін $x(t + 2) > 0$ шарты $< p_1$, ($0 \leq p_1 \leq 1$) сенімділігімен қанағаттанатын жағдайды қарастыруға назар аудардық. Яғни, шабуылдаушы $(1 - p_1)$ тен жоғары сенімділікке ие ақпараттық жүйелерді бұлдірді деп айтуға болады.

Яғни, шабуылдаушы сенімділігі $(1 - p_1)$ -ден жоғары ақпараттық жүйелерді бұлдірді деп айта аламыз. Содан кейін осы қорғаныс кедергілерін конфигурациялау үшін киберқауіпсіздікті қаржыландыру процедурасы аяқталды. Содан кейін осы қорғаныс кедергілерін конфигурациялау үшін киберқауіпсіздікті қаржыландыру процедурасы аяқталды.

Әйтпесе, процедура жалғасуда.

[12, 15]-дегідей, бірінші ойыншы келесі қасиетке ие бастапқы күйлерінің жиынын (КЖ) табуға ұмтылады. Қасиет: егер ойын бастапқы күйлерден басталса, онда бірінші ойыншы өзінің басқару әрекеттерін $u(0), k(0), \dots, u(t), k(t) (t = 2n)$ таңдай отырып, өзінің ақпараттық жүйелерінің сенімділігін p_0 -дан жоғары қорғауды қамтамасыз ете алады.

Сонымен бірге, ақпараттық қорғаушы хакердің зиян келтіруіне үлкен сенімділікпен тосқауыл қоя алады. Мұндай күйлер жиынтығы бірінші ойыншының қалау жиыны деп аталады.

Сонымен бірге, ақпараттық қорғаушының стратегиясы оған қолда бар ақпарат негізінде киберқауіпсіздік жүйесін дамытуға бағытталған қаржылық ресурстардың көлемін анықтауға мүмкіндік беретін ереже болып табылады. Сондай-ақ, қаражаттың бір бөлігі екінші ойыншы (хакер) туралы қосымша ақпарат алуға бағытталған. Екінші ойыншы кез-келген ақпарат негізінде өзінің $v(\cdot)$ стратегиясын таңдайды.

Бірінші ойыншының мақсаты - оның қалауын табу.

Сондай-ақ, ақпаратты қорғаушыға стратегиялар анықталды, оның көмегімен ол кибер қорғанысты қаржыландыру процедурасын аяқтауға мүмкіндік беретін шарттардың орындалуын алады. Көрсетілген қасиеттері бар бірінші ойыншының стратегиялары оның оңтайлы стратегиялары деп аталады.

Ойынның тұжырымдалған моделі, шешім қабылдау теориясының жіктелуіне сәйкес, түсініксіз ақпарат жағдайында шешім қабылдау проблемасына сәйкес келеді. Мұндай модель – кезек-кезек жүретін бірнеше терминал беткейлері бар сапасыз көпсатылы ойын екенін ескеріңіз.

Бірінші ойыншыға (АК) арналған артықшылық жиынын және оның оңтайлы стратегияларын табу параметрлер жиынтығына байланысты екенін ескеру қажет.

Қорғаныс тарапында буылдыр жиынтықпен сипатталатын ресурстар болған кезде және ол бірінші қадамда ақпарат алу процедурасын қолданған кезде ойыншының жағдайды тандаған жұмысын [13,15] ескере отырып, келесі өрнектер алынды.

$p_1 = p_0$ жағдайын береміз.

T қадамындағы бірінші ойыншының бірінші қадамдағы қосымша ақпараттық процедураны қолданатын іс үшін артықшылықтарының жиынтығы $V_{1,k(1)}^T(p_0, p_0)$ - мен белгіленеді.

[13,15]-де ойыншылардың оңтайлы стратегияларының оңтайлылық жиындарының белгісі келтірілген, осы мақалада жиындардың және қарапайым жағдайға арналған оңтайлы стратегиялардың белгілерін ұсынамыз.

$T = 1$

$p_0 : 0 \leq p_0 \leq 0,5$ кезінде $V_{1,k(1)}^T(p_0, p_0)$ аламыз.

$p_0 : 0,5 < p_0 < 1$ кезінде, аламыз:

Егер $a < 2 \cdot p_0 \cdot r - r$, онда

$$V_{1,k(1)}^1(p_0, p_0) = \{x(0) : 2\sqrt{a(2 \cdot p_0 \cdot r - r)} \leq s_1 \cdot \alpha \cdot x(0) < a + 2 \cdot p_0 \cdot r - r\}$$

Ақпаратты қорғаушы үшін оңтайлы стратегия $[u(\dots), k(\dots)]$ функциясының жұбы болады:

$$(\bar{k}(1))_2 < k^*(x(0), F(\cdot)) < (k(1))_1,$$

$$(\bar{k}(1))_{1,2} = \frac{s_1 \cdot \alpha \cdot x(0) \pm \sqrt{(s_1 \cdot \alpha \cdot x(0))^2 - 4 \cdot a(2 \cdot p_0 \cdot r - r)}}{2 \cdot (2 \cdot p_0 \cdot r - r)}; \quad (6)$$

$$u^*(x(0), F(\cdot)) = 1; \text{ кезінде } x(0) : 2 \cdot \sqrt{a \cdot (2 \cdot p_0 \cdot r - r)} \leq s_1 \cdot \alpha \cdot x(0). \quad (7)$$

$$u^*(x(0), F(\cdot)) = 0; \text{ кезінде } x(0) : s_1 \cdot \alpha \cdot x(0) < 2 \cdot \sqrt{a \cdot (2 \cdot p_0 \cdot r - r)}. \quad (8)$$

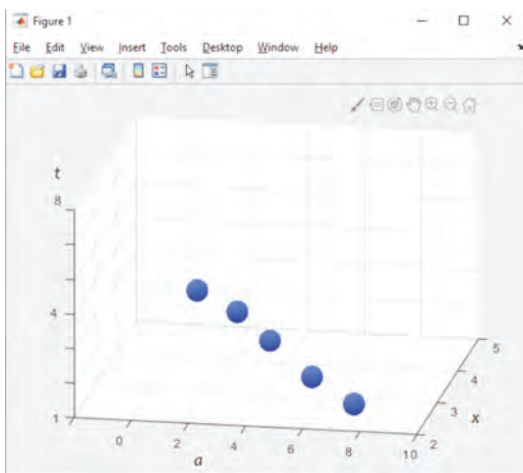
$a \geq 2 \cdot p_0 \cdot r - r$ кезінде $V_{1,k(1)}^1(p_0, p_0) = \emptyset$ аламыз.

Айқын емес жиынтықтың ортасын сегмент түрінде анықтау қосымша ақпарат алу процедурасын енгізу кезінде үлкен шектеу емес екенін ескеру қажет. Өзіңізді шектеу жеткілікті, мысалы, сегменттің «сол жағында», бұл ойыншылардың оңтайлылық жиынтығы мен оңтайлы стратегиясын анықтауға әсер етпейді.

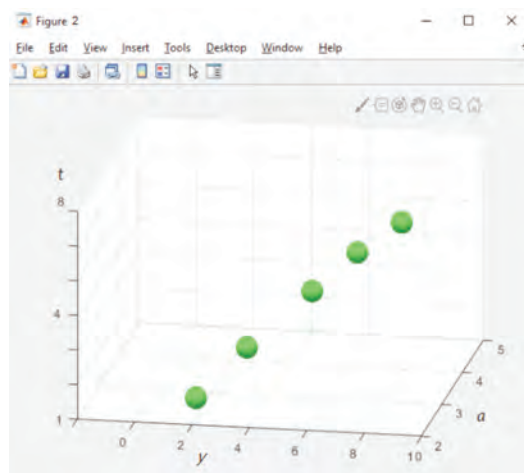
Жұмыста жасалған модельдің тиімділігі мен сәйкестігі жүргізілген тәжірибелермен расталды. Тәжірибелерде ойыншылардың қорғаушы да, шабуылдаушы да стратегияларының жиынтығын анықтауға және сонымен қатар математикалық модельдің сәйкестігін тексеруге міндеттер қойылды.

Төменде 1-3 суреттерде келтірілген үш есептеу экспериментінің нәтижелері келтірілген. 1-3 жағдайлары осы тәжірибелерге сәйкес келеді. Үш жағдай келтірілген. Алайда, шешімдер ойын параметрлерінің барлық жағдайлары үшін алынғанын атап өткен жөн. Жұмыста қарастырылған модельдің көмегімен алынған нәтижелер ақпараттандыру объектісі қорғаушысының өзара әрекеттесу параметрлерінің кез-келген арақатынасы үшін оңтайлы қаржылық стратегияларын табуға мүмкіндік берді.

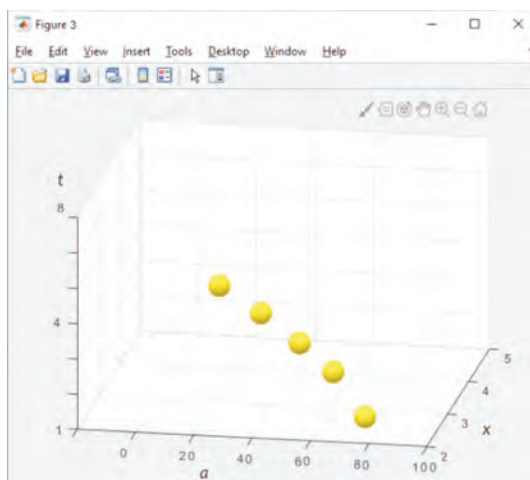
$(t, x(0), a)$ - үш өлшемді кеңістіктегі үш өлшемді оң ортантты қарастырамыз. t уақыт өсі «төменнен жоғарыға, нөлден өтеді». t параметрі ойыншылардың қадамдарының санын білдіреді.



Сурет 1 – Жағдай 1



Сурет 2 – Жағдай 2



Сурет 3 – Жағдай 3

Уақыттың әр сәтінде жүйенің күйі 1-суретте «сары доппен» сипатталған. Ойыншылар оңтайлы стратегияларды қолданғанда жүйенің күйі тепе-теңдік сызығы бойымен «қозғалады».

Алғыс. Зерттеулер мен мақалалар Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігі, Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен АР08855887 «Кибернетикалық қауіпсіздік жүйелеріне инвестициялау процесінде интеллектуалды шешімдерді қабылдауды қолдау жүйесін әзірлеу» жобасы аясында жүргізілді.

Қорытынды. Ақпараттандыру объектілерінің киберқауіпсіздік жүйесін қаржыландыру рәсімдерін сипаттайтын модельдерге толықтырулар ұсынылады. Қолданыстағы шешімдерден айырмашылығы, іс қорғаныс жағында шабуылдаушы тараптың қаржылық стратегиялары туралы да, оның ақпараттандыру объектісін қорғау шекараларын еңсеруге бағытталған оның қаржылық ресурстарының жағдайы туралы да толық ақпарат болмаған жағдайда қарастырылады. Бұл жағдайда қорғаныс тарабы өзінің қаржылық ресурстарының бір бөлігі есебінен қосымша ақпарат алуға мүмкіндігі бар. Қорғаныс тарапының қаржылық ресурстары бұлыңғыр жиынтықтың көмегімен сипатталған жағдайда шешім шығарылады. Шешім динамикалық бағдарламалау әдісіне негізделген. Шешімдерді іздеу үшін бірнеше терминал беткейлері бар бейтарап жүрістермен сызықты емес көпқадамды ойын аппараты қолданылды.

ӘДЕБИЕТ

1 Posey, C., Roberts, T., Lowry, P., Bennett, B., & Courtney, J. (2013). Insiders' protection of organizational information assets: Development of a systematics-based taxonomy and theory of diversity for protection-motivated behaviors.

2 Posey, C., Roberts, T. L., Lowry, P. B., & Hightower, R. T. (2014). Bridging the divide: A qualitative comparison of information security thought patterns between information security professionals and ordinary organizational insiders. *Information & management*, 51(5), pp. 551-567.

3 Taylor, R. W., Fritsch, E. J., & Liederbach, J. (2014). *Digital crime and digital terrorism*. Prentice Hall Press.

4 Gordon, L. A., Loeb, M. P., & Zhou, L. (2016). Investing in cybersecurity: Insights from the Gordon-Loeb model. *Journal of Information Security*, 7(02), p. 49.

5 Kelly, B. B. (2012). Investing in a centralized cybersecurity infrastructure: Why hacktivism can and should influence cybersecurity reform. *BUL Rev.*, 92, p. 1663.

6 Goztepe K. Designing Fuzzy Rule Based Expert System for Cyber Security, *International Journal of Information Security Science*, 2012, Vol. 1, No 1, pp. 13–19.

7 Fielder A., Panaousis E., Malacaria P. et al. Decision support approaches for cyber security investment, *Decision Support Systems*, 2016, Vol. 86, pp. 13–23.

8 Lakhno V. A. Development of a support system for managing the cyber security, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017, No. 2, pp. 109–116.

9 Cavusoglu H., Mishra B., Raghunathan S. A model for evaluating IT security investments, *Communications of the ACM*, 2004, Vol. 47, No. 7, pp. 87–92.

10 Gordon, L. A., Loeb, M. P., Lucyshyn, W., & Zhou, L. (2015). The impact of information sharing on cybersecurity underinvestment: a real options perspective. *Journal of Accounting and Public Policy*, 34(5), pp. 509–519.

11 Fielder, A., Konig, S., Panaousis, E., Schauer, S., & Rass, S. (2017). Uncertainty in Cyber Security Investments. arXiv preprint arXiv:1712.05893.

12 Akhmetov, B., Lakhno, V., Boiko, Y., & Mishchenko, A. (2017). Designing a decision support system for the weakly formalized problems in the provision of cybersecurity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, (1 (2)), pp. 4-15.

13 Lakhno V., Malyukov V., Gerasymchuk N. et al. Development of the decision making support system to control a procedure of financial investment, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, Vol. 6, N. 3, pp. 24–41.

14 Manshaei M. H., Zhu Q., Alpcan T. et al. Game theory meets network security and privacy, *ACM Computing Surveys*, 2013, Vol. 45, No. 3, pp. 1–39.

15 Malyukov V.P. Discrete-approximation method for solving a bilinear differential game, *Cybernetics and Systems Analysis*, 1993, Vol. 29, No. 6, pp. 879 – 888.

REFERENCES

1 Posey, C., Roberts, T., Lowry, P., Bennett, B., & Courtney, J. (2013). Insiders' protection of organizational information assets: Development of a systematics-based taxonomy and theory of diversity for protection-motivated behaviors.

2 Posey, C., Roberts, T. L., Lowry, P. B., & Hightower, R. T. (2014). Bridging the divide: A qualitative comparison of information security thought patterns between information security professionals and ordinary organizational insiders. *Information & management*, 51(5), pp. 551-567.

3 Taylor, R. W., Fritsch, E. J., & Liederbach, J. (2014). *Digital crime and digital terrorism*. Prentice Hall Press.

4 Gordon, L. A., Loeb, M. P., & Zhou, L. (2016). Investing in cybersecurity: Insights from the Gordon-Loeb model. *Journal of Information Security*, 7(02), p. 49.

5 Kelly, B. B. (2012). Investing in a centralized cybersecurity infrastructure: Why hacktivism can and should influence cybersecurity reform. *BUL Rev.*, 92, p. 1663.

6 Goztepe K. Designing Fuzzy Rule Based Expert System for Cyber Security, *International Journal of Information Security Science*, 2012, Vol. 1, No 1, pp. 13–19.

7 Fielder A., Panaousis E., Malacaria P. et al. Decision support approaches for cyber security investment, *Decision Support Systems*, 2016, Vol. 86, pp. 13–23.

8 Lakhno V. A. Development of a support system for managing the cyber security, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017, No. 2, pp. 109–116.

9 Cavusoglu H., Mishra B., Raghunathan S. A model for evaluating IT security investments, *Communications of the ACM*, 2004, Vol. 47, No. 7, pp. 87–92.

10 Gordon, L. A., Loeb, M. P., Lucyshyn, W., & Zhou, L. (2015). The impact of information sharing on cybersecurity underinvestment: a real options perspective. *Journal of Accounting and Public Policy*, 34(5), pp. 509–519.

11 Fielder, A., Konig, S., Panaousis, E., Schauer, S., & Rass, S. (2017). Uncertainty in Cyber Security Investments. arXiv preprint arXiv:1712.05893.

12 Akhmetov, B., Lakhno, V., Boiko, Y., & Mishchenko, A. (2017). Designing a decision support system for the weakly formalized problems in the provision of cybersecurity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, (1 (2)), pp. 4-15.

13 Lakhno V., Malyukov V., Gerasymchuk N. et al. Development of the decision making support system to control a procedure of financial investment, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, Vol. 6, N. 3, pp. 24–41.

14 Manshaei M. H., Zhu Q., Alpcan T. et al. Game theory meets network security and privacy, *ACM Computing Surveys*, 2013, Vol. 45, No. 3, pp. 1–39.

15 Malyukov V.P. Discrete-approximation method for solving a bilinear differential game, *Cybernetics and Systems Analysis*, 1993, Vol. 29, No. 6, pp. 879 – 888.

Б. Е. ЯГАЛИЕВА¹, Б. Б. АХМЕТОВ¹, В. А. ЛАХНО²

¹Университет Есенова, г.Актау, Казахстан

²Национальный университет биоресурсов и природопользования, г.Киев, Украина

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ФИНАНСИРОВАНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВАХ УГРОЗ И РЕСУРСОВ У СТОРОНЫ ЗАЩИТЫ

В статье предлагается адаптивная модель выбора стратегий финансирования средств кибербезопасности объекта информатизации при неполной информации о финансовых ресурсах атакующей стороны. Рассмотрен случай, когда финансовые ресурсы стороны защиты принадлежат некоторому нечеткому множеству. Модель предназначена для разрабатываемой системы поддержки принятия решений в задачах выбора рациональных вариантов инвестирования в системы защиты информации. Решение было получено на основе применения инструментария теории многошаговых игр с несколькими терминальными поверхностями. Для поиска решений применен аппарат нелинейной многошаговой игры качества с несколькими терминальными поверхностями с поочередными ходами. Защищенность ОбИ определяют исходя из ущерба, который связан с реализацией киберугроз, носящих случайный характер. Модель отличает допущение, что сторона защиты не имеет полной информации как о финансовых стратегиях атакующей стороны, так и о состояниях его финансовых ресурсов, направленных на преодоление рубежей защиты информации. Сделано допущение, что сторона защиты имеет возможность получения дополнительной информации за счет затраты части своих финансовых ресурсов. Проверка работоспособности модели была выполнена с помощью вычислительного эксперимента, результаты которого также приведены в статье.

Ключевые слова: защита информации, объект информатизации, теория игр, финансовая стратегия, нечеткие множества, процедура получения дополнительной информации, система поддержки принятия решений.

B. E. YAGALIYEVA¹, B. B. AKHMETOV¹, V. A. LAKHNO²

¹Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine
e-mail: bagdat.yagaliyeva@yu.edu.kz

ADAPTIVE MODEL OF CYBER SECURITY FINANCING WITH FUZZY SET OF THREATS AND RESOURCES AT THE SIDE OF PROTECTION

The article proposes an adaptive model for choosing strategies for financing cybersecurity means of an informatization object with incomplete information about the financial resources of the attacking party. The case is considered when the financial resources of the side of the defense belong to some fuzzy set. The model is intended for the developed decision support system in the tasks of choosing rational options for investing in information security systems. The solution was obtained based on the use of the tools of the theory of multistage games with several terminal surfaces. The model is distinguished by the assumption that the protection side does not have complete information about both the financial strategies of the attacking side and the state of its financial resources aimed at overcoming the boundaries of information protection. It is assumed that the defense side has the ability to obtain additional information at the expense of part of its financial resources. The performance of the model was checked using a computational experiment, the results of which are also presented in the article.

Key words: information security, object of informatization, game theory, financial strategy, fuzzy sets, procedure for obtaining additional information, decision support system.

УДК 517.946

<https://doi.org/10.47533/2023.1606-146X.11>

М. М. АБЕНОВ*, Н. А. БОЛАТ

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

abenov60@gmail.com

bolat.nazym.armankyzy@gmail.com

О ТОЧНЫХ РЕШЕНИЯХ УРАВНЕНИЯ НЕРАЗРЫВНОСТИ

В статье раскрывается, как найден континуум точных решений двумерного уравнения неразрывности при стационарном, плоско – параллельном течении жидкости. В классической литературе описываются только специфические решения этого уравнения, соответствующие безвихревому течению жидкости. При этом используются компоненты произвольной аналитической функции комплексного переменного, играющие роль потенциала скорости и функции тока. В данной работе мы даем обобщение этого метода, дающее также вихревые решения уравнения неразрывности.

Ключевые слова: *уравнение неразрывности, плоско -параллельное течение, континуум точных решений, вихревое течение, безвихревые течения, несжимаемая жидкость.*

Введение. Рассмотрим плоскопараллельное, стационарное течение несжимаемой жидкости в некоторой области $G \subset R^2$ (см.[1] -[4]). Как известно, в этом случае имеет место уравнение неразрывности вида

$$\frac{\partial V_1}{\partial x} + \frac{\partial V_2}{\partial y} = 0 \quad (1.1)$$

где $V_1(x, y), V_2(x, y)$ – искомые компоненты скорости частиц жидкости.

Общеизвестно, что существует двухшаговый метод решения уравнения (1.1), подробно описанный в работе [1] .

Шаг 1. Берется произвольная, аналитическая в области $G \subset R^2$ функция комплексного переменного ($z = x + iy$) вида $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$.

Шаг 2. Пишется точное решение уравнения (1.1), соответствующее выбранной аналитической функции в следующей форме:

$$\begin{cases} V_1 = u(x, y) \\ V_2 = -v(x, y) \end{cases} \quad (1.2)$$

* E-mail корреспондирующего автора: abenov60@gmail.com

Очевидно, что формула (1.2) дает континуум точных решений уравнения неразрывности. При этом все решения соответствуют только безвихревому течению жидкости. Действительно, для всех решений из (1.2) мы имеем $rot\vec{V} = 0$ [1]

Далее, для прикладных целей важно описание также вихревых течений жидкости, когда $rot\vec{V} \neq 0$. Это обстоятельство приводит нас к необходимости поиска возможных путей обобщения вышеизложенного метода, дающих также вихревые решения уравнения неразрывности.

Методология и результаты исследования. Известно, что в работе [2] был получен метод получения точных решений более общего уравнения неразрывности в гидродинамике. Здесь мы существенно используем двумерный аналог этого подхода.

Определение. Четыре скаляра (действительные либо комплексные числа) $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ называются разрешающими параметрами уравнения (1.1), если выполняется условие: $\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2 = 0$.

Из этого определения следует, что уравнение (1.1) имеет бесчисленное множество наборов разрешающих параметров. Определенный набор мы будем обозначать так:

$$SP = (\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2) \quad (1.3)$$

Теорема. Пусть $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ – произвольная функция комплексного переменного, $SP = (\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2)$ произвольный набор разрешающих параметров. Тогда уравнение неразрывности (1.1) имеет точное решение вида:

$$\begin{cases} V_1(x, y) = \beta_1 u(\alpha_1 x, \alpha_2 y) \\ V_2(x, y) = \beta_2 v(\alpha_1 x, \alpha_2 y) \end{cases} \quad (1.4)$$

Доказательство:

Введем новые переменные $x_1 = \alpha_1 x$; $y_1 = \alpha_2 y$. Тогда из (1.4) получим:

$$\frac{\partial V_1}{\partial x} + \frac{\partial V_2}{\partial y} = \alpha_1 \beta_1 \frac{\partial u}{\partial x_1} + \alpha_2 \beta_2 \frac{\partial v}{\partial y_1} = (\alpha_1 \beta_1 + \alpha_2 \beta_2) \frac{\partial u}{\partial x_1} = 0.$$

Выше мы использовали условие Коши – Римана $\frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial y_1}$, справедливое для компонент произвольной аналитической функции. Теорема доказана.

Очевидно, что формулой (1.4) дается континуум (бесчисленное множество) точных решений уравнения неразрывности. Существенным является то, что эта формула дает также вихревые решения. Легко понять, что общеизвестная формула безвихревых решений (1.2) является частным случаем формулы (1.4), записанным для простейшего набора разрешающих параметров: $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$; $\beta_1 = 1, \beta_2 = -1$.

То есть формула (1.4) содержит решения с различными дифференциальными свойствами. Они могут быть ограниченными, периодическими, вихревыми и так далее. Ниже иллюстрируются два точных решения уравнения неразрывности.

Пример 1. Найдем точное решение уравнения неразрывности, ограниченное всюду в области $G = R^2$. Рассмотрим решение вида (1.4), отвечающее следующим параметрам: $w = e^{-z^2}$, $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = i, \beta_1 = 1, \beta_2 = i$.

Имеем:

$$w = e^{-z^2} = e^{-(x+iy)^2} = e^{-(x^2-y^2+2ixy)} = e^{-x^2+y^2} \cdot e^{-2ixy} = e^{-x^2+y^2} [\cos(2xy) - i \sin(2xy)].$$

Таким образом:

$$u(x, y) = e^{-x^2+y^2} \cos(2xy); v(x, y) = -e^{-x^2+y^2} \sin(2xy)$$

Теперь формула (1.4) запишется так:

$$\begin{cases} V_1(x, y) = e^{-x^2-y^2} \cos(2ixy) = e^{-x^2-y^2} ch2xy \\ V_2(x, y) = ie^{-x^2-y^2} \sin(2ixy) = e^{-x^2-y^2} sh2xy \end{cases}$$

Мы получили ограниченное во всем R^2 решение. Оно является вихревым.

Пример 2. Найдем периодическое решение уравнения неразрывности, ограниченное всюду в области $G = R^2$.

Рассмотрим решение вида (1.4), отвечающее следующим параметрам: $w = \cos z$, $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = i$, $\beta_1 = 1$, $\beta_2 = i$.

Имеем:

$$w = \cos z = \cos xchy + i \sin xshy$$

Формула (1.4) запишется так:

$$\begin{cases} V_1(x, y) = \cos xchiy = \cos x \cos y \\ V_2(x, y) = i \sin xshiy = \sin x \sin y \end{cases}$$

Найденное решение периодическое и вихревое. Оно ограничено во всей плоскости.

Легко понять, что таким путем мы можем записывать точные решения уравнения неразрывности с требуемыми дифференциальными свойствами.

Заключение. В настоящей работе найден континуум точных решений двумерного уравнения неразрывности при вихревом течении. Это позволяет описать классы точных решений уравнений движения Эйлера и Навье – Стокса, которые описывают процессы стационарного, двумерного течения жидкостей. Можно показать, что формула (1.4) содержит в себе все известные решения, указанные в работе [5]. Далее, из результатов работы [2] следует, что получение континуума точных решений уравнения неразрывности существенно облегчает исследование более сложных уравнений движения гидродинамики.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.:Наука,1973.
- 2 Абенов М.М. Четырехмерная математика: методы и приложения. – Алматы.: КазНУ. 2019.
- 3 Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973.
- 4 Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. Т. 6: Гидродинамика. 5-е изд. М.: Физматлит, 2006.

5 ристов С.Н., Князев Д.Е., Полянин А.Д. Точные решения уравнений Навье–Стокса с линейной зависимостью компонент скорости от двух пространственных переменных // Теоретические основы химической технологии. 2006. Т. 43. № 5. С. 547–566.

6 Скульский О.И., Аристов С.Н. Механика аномально вязких жидкостей. М.; Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2003.

7 Дэйли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости //Пер с англ.

8 Ладыженская О. А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1970

9 Пухначев В. В. Симметрии в уравнениях Навье–Стокса. Успехи механики №1, 2006.

10 Мелешко В. В., Константинов М. Ю. Динамика вихревых структур. – К.: Наукова думка, 1993

REFERENCES

1 Lojcyanskij L.G. Mekhanika zhidkosti i gaza. – М.:Nauka,1973.

2 Abenov M.M. CHetyrekhmernaya matematika: metody i prilozheniya. – Almaty.: KazNU. 2019.

3 Betchelor Dzh. Vvedenie v dinamiku zhidkosti. М.: Mir, 1973.

4 Landau L.D., Lifshic E.M. Teoreticheskaya fizika. V 10 t. T. 6: Gidrodinamika. 5-e izd. М.: Fizmatlit, 2006.

5 Aristov S.N., Knyazev D.E., Polyanin A.D. Tochnye resheniya uravnenij Nav'e–Stoksa s linejnoy zavisimost'yu komponent skorosti ot dvuh prostranstvennyh peremennyh // Teoreticheskie osnovy himicheskoy tekhnologii. 2006. Т. 43. № 5. S. 547–566.

6 Skul'skij O.I., Aristov S.N. Mekhanika anomal'no vyazkih zhidkостей. М.; Izhevsk: NIC “Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika”, 2003.

7 Dejli Dzh., Harleman D. Mekhanika zhidkosti //Per s angl.

8 Ladyzhenskaya O. A. Matematicheskie voprosy dinamiki vyazkoj neszhimajemoj zhidkosti. М.: Nauka, 1970

9 Puhnachev V. V. Simmetrii v uravneniyah Nav'e–Stoksa. Uspekhi mekhaniki №1, 2006.

10 Meleshko V. V., Konstantinov M. YU. Dinamika vihrevykh struktur. – К.: Naukova dumka, 1993

М. М. АБЕНОВ, Н. А. БОЛАТ

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ҮЗІЛДІЛІК ТЕҢДЕУІНІҢ НАҚТЫ ШЕШІМДЕРІ ТУРАЛЫ

Мақалада екі өлшемді үздіксіздік теңдеуінің стационар, жазық-параллель ағу үшін нақты шешімдерінің континуумы табылды. Бұған дейін осы теңдеудің тек құйынсыз ағынға сай шешімдерін алу тәсілі белгілі болатын. Біз осы жұмыста осы тәсілдің жалпылауын тауып, сол арқылы құйынды шешімдерді аламыз.

Түйін сөздер: *үздіксіздік теңдеуі, жазықтық-параллель қозғалыс, нақты шешімдердің континуумы, құйынды ағын, құйынсыз ағындар, сығылмайтын сұйықтық.*

M. M. ABENOV, N. A. BOLAT

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

ON EXACT SOLUTIONS OF THE EQUATION OF CONTINUITY

The continuum of exact solutions of the two-dimensional continuity equation for stationary, plane-parallel fluid flow is found in the article. Only specific solutions of this equation corresponding to a vortex-free fluid flow are described in the classical literature. At the same time, components of an arbitrary analytical function of a complex variable are used, playing the role of a velocity potential and a current function. In this paper we give a generalization of this method, which also gives vortex-free solutions to the continuity equation.

Key words: *continuity equation, plane-parallel motion, continuum of exact solutions, vortex flow, vortex-free flows, incompressible fluid.*

A. T. BAIMANKULOV^{1*}, M. M. KHASANOV², A. O. ISMAILOV³, O. Y. GANJAEV²

Kostanay Regional University named after A. Baitursynov¹,

Urgench state university²(Uzbekistan),

Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov³

GENERALIZED (G'/G) - EXPANSION METHOD FOR THE LOADED SHALLOW WATER WAVE EQUATION

This article is devoted to finding solutions for the traveling wave of the loaded wave equation in shallow water. One of the approaches to finding solutions by the expansion method (G'/G) is given, which is one of the most effective ways to obtain solutions. When parameters are taken as special values, solitary waves are also derived from traveling waves. Solutions for the traveling wave are expressed by hyperbolic and trigonometric functions. This method is easy to implement using well-known software packages that allow solving complex nonlinear evolutionary equations of mathematical physics.

Key words: expansion method, evolution equations, continuous function, loaded equation, shallow water wave equation.

Introduction. The work [1] presents the use of the – expansion method (G'/G) for integrating nonlinear evolutionary equations. The expansion method (G'/G) is also often used in finding solutions to nonlinear evolutionary traveling wave equations [2-12].

There are well-known works [13-14], where this method was effectively applied to solutions of the loaded Korteweg-de Vries equation (KdV) and the modified Korteweg-de Vries equation.

This research shows one of the options for solving a loaded wave equation using a generalized extension method.

Let us turn to the loaded equation of a traveling wave in shallow water

$$q_{xxx} + \alpha q_x q_{xt} + \beta q_t q_{xx} - q_{xt} - \gamma q_{xx} + f(t)q(0,t)q_{xx} = 0, \quad (1)$$

where $q(x,t)$ – unknown function, $x \in R$, $t \geq 0$, $f(t)$ – given continuous function

Algorithm of the generalized (G'/G) expansion method. Let us consider the following non-linear equation

$$F(q, q_t, q_x, q_{tt}, q_{xx}, q_{xt}, \dots) = 0, \quad (2)$$

here $q = q(x,t)$ unknown function of independent variables x and t . F is a polynomial of q and its partial derivatives of higher- order and non-linear terms. By stages, the main steps of the expansion method are as follows [2]:

Step 1. We are looking for a business trip form:

$$q(x,t) = q(\xi), \quad \xi = x - \Omega(t), \quad (3)$$

where $\Omega(t)$ continuous parameter is a function of a variable t . Now we transform equation (2) to the following nonlinear ODE:

* E-mail корреспондирующего автора: bat_56@mail.ru, hmuzaffar@mail.ru

$$P(q, q', q'', q''', \dots) = 0, \tag{4}$$

where P - expresses a polynomial depending on $q(\xi)$ and $q' = dq(\xi)/d\xi$, $q'' = d^2q(\xi)/d\xi^2$.

Step 2. We assume that the solution of equation (4) can be represented as

$$q(\xi) = \sum_{j=0}^m a_j \left(\frac{G'}{G} \right)^j, \tag{5}$$

where $G = G(\xi)$ satisfies the following second- order ordinary differential equation

$$G'' + \lambda G' + \mu G = 0, \tag{6}$$

here $G' = dG(\xi)/d\xi$, $G'' = d^2G(\xi)/d\xi^2$ and $\lambda, \mu, a_j (j=1,2,\dots,m)$ are constants whose values will be determined later, assuming $a_m \neq 0$.

Step 3. Such an integer is determined m , to balance the higher-order nonlinear terms and higher-order partial derivatives from (4).

Step 4. Using (5) and (6) we transform (4) and group all terms with the same order $\left(\frac{G'(\xi)}{G(\xi)} \right)$. Then the left side of expression (4) is transformed into a polynomial $\left(\frac{G'(\xi)}{G(\xi)} \right)$.

Now, equating to zero each coefficient of this polynomial, we obtain overdetermined partial differential equations for $a_j (j=1,2,\dots,m)$ and ξ .

Step 5. Substituting the solutions of equation (6) into (5), as well as the values a_j and ξ , we will come to an exact solution of the equation (2).

Exact solutions of a loaded nonlinear equation. This section provides an exact solution to a loaded nonlinear equation using (G'/G) expansion method. To this end, we perform the above steps for equation (1). Using a traveling wave variable

$$q(x,t) = q(\xi), \quad \xi = x - \Omega(t), \tag{7}$$

Let us transform equation (1) into an ordinary differential equation with respect to $q = q(\xi)$

$$-\Omega'_i(t)q^{IV} - \alpha\Omega'_i(t)q'q'' - \beta\Omega'_i(t)q'q'' + \Omega'_i(t)q'' - \gamma q'' + f(t)q(0,t)q'' = 0, \tag{8}$$

integrating it over ξ we get

$$C - \Omega'_i(t)q''' - \frac{1}{2}\Omega'_i(t)(\alpha + \beta)(q')^2 + (\Omega'_i(t) - \gamma)q' + f(t)q(0,t)q' = 0, \tag{9}$$

where C - integration constant, the value of which can be determined in the future. The solution of equation (9) in the form of a polynomial can be expressed as

$$q(\xi) = \sum_{j=0}^m a_j \left(\frac{G'}{G} \right)^j, \tag{10}$$

where $G = G(\xi)$ satisfies a second-order ordinary differential equation of the form

$$G'' + \lambda G' + \mu G = 0 . \tag{11}$$

Using (10) and (11), q'^2 and q''' can be easily obtained

$$q'^2(\xi) = m^2 a_m^2 \left(\frac{G'}{G}\right)^{2(m+1)} + \dots \tag{12}$$

$$q'''(\xi) = m(m+1)(m+2)a_m \left(\frac{G'}{G}\right)^{m+3} + \dots . \tag{13}$$

When the condition $m = 1$ and taking into account a homogeneous balance between $q'^2(\xi)$ and $q'''(\xi)$ in equation (9), based on (12) and (13), the expression for q will take as follows

$$q(\xi) = a_1 \left(\frac{G'}{G}\right) + a_0 , \tag{14}$$

then the following relation holds

$$\begin{aligned} q'^2(\xi) &= \left(a_1 \left(\frac{G'}{G}\right) + \lambda a_1 \left(\frac{G'}{G}\right) + a_1 \mu \right)^2 = a_1^2 \left(\frac{G'}{G}\right)^4 + \lambda^2 a_1^2 \left(\frac{G'}{G}\right)^2 + \\ &+ a_1^2 \mu^2 + 2a_1^2 \lambda \left(\frac{G'}{G}\right)^3 + 2a_1^2 \mu \left(\frac{G'}{G}\right)^2 + 2a_1^2 \lambda \mu \left(\frac{G'}{G}\right) . \end{aligned} \tag{15}$$

After simple transformations based on (14) and (11), we obtain an expression for $q'''(\xi)$

$$\begin{aligned} q'''(\xi) &= -6a_1 \left(\frac{G'}{G}\right)^4 - 12a_1 \lambda \left(\frac{G'}{G}\right)^3 - (7a_1 \lambda^3 + 8a_1 \mu) \left(\frac{G'}{G}\right)^2 - \\ &- (a_1 \lambda^3 + 8a_1 \lambda \mu) \left(\frac{G'}{G}\right) - (a_1 \lambda^2 \mu + 2a_1 \mu^2) . \end{aligned} \tag{16}$$

Further, after substituting relations (15)-(16) into equation (9) and grouping all terms with the same degree (G'/G) , on the left side of equation (9) we obtain a polynomial

$$\begin{aligned} &(6a_1 \Omega'_i(t) - \frac{1}{2} \Omega'_i(t)(\alpha + \beta) a_1^2) \left(\frac{G'}{G}\right)^4 + (12a_1 \lambda \Omega'_i(t) - \Omega'_i(t)(\alpha + \beta) a_1^2 \lambda) \left(\frac{G'}{G}\right)^3 + \\ &+ (7a_1 \lambda^2 \Omega'_i(t) + 8a_1 \mu \Omega'_i(t) - \frac{1}{2} \Omega'_i(t)(\alpha + \beta)(a_1^2 \lambda^2 + 2a_1^2 \mu) - (\Omega'_i(t) - \gamma) - f(t)q(0,t)a_1) \left(\frac{G'}{G}\right)^2 + \\ &+ (a_1 \lambda^3 \Omega'_i(t) + 8a_1 \mu \lambda \Omega'_i(t) - \Omega'_i(t)(\alpha + \beta) a_1^2 \lambda \mu - a_1 \lambda (\Omega'_i(t) - \gamma) - a_1 \lambda f(t)q(0,t)) \left(\frac{G'}{G}\right) + \end{aligned} \tag{17}$$

$$+(C + \Omega'_t(t)(\lambda^2 a_1 \mu + 2a_1 \mu^2) - \frac{1}{2} \Omega'_t(t)(\alpha + \beta) a_1^2 \mu^2 - a_1 \mu (\Omega'_t(t) - \gamma) - a_1 \mu f(t) q(0, t)) \left(\frac{G'}{G}\right)^0 = 0$$

If each coefficient of expression (17) is equated to zero, we obtain a system of homogeneous equations for a_1 , $\Omega(t)$ and C :

$$\left(\frac{G'}{G}\right)^4 : 6a_1 \Omega'_t(t) - \frac{1}{2} \Omega'_t(t)(\alpha + \beta) a_1^2 = 0 ,$$

$$\left(\frac{G'}{G}\right)^3 : 12a_1 \lambda \Omega'_t(t) - \Omega'_t(t)(\alpha + \beta) a_1^2 \lambda = 0 ,$$

$$\left(\frac{G'}{G}\right)^2 : 7a_1 \lambda^2 \Omega'_t(t) + 8a_1 \mu \Omega'_t(t) - \frac{1}{2} \Omega'_t(t)(\alpha + \beta)(a_1^2 \lambda^2 + 2a_1^2 \mu) - (\Omega'_t(t) - \gamma) a_1 - f(t) q(0, t) a_1 = 0 ,$$

$$\left(\frac{G'}{G}\right)^1 : a_1 \lambda^3 \Omega'_t(t) + 8a_1 \mu \lambda \Omega'_t(t) - \Omega'_t(t)(\alpha + \beta) a_1^2 \lambda \mu - a_1 \lambda (\Omega'_t(t) - \gamma) - a_1 \lambda f(t) q(0, t) = 0 ,$$

$$\left(\frac{G'}{G}\right)^0 : C + \Omega'_t(t)(\lambda^2 a_1 \mu + 2a_1 \mu^2) - \frac{1}{2} \Omega'_t(t)(\alpha + \beta) a_1^2 \mu^2 - a_1 \mu (\Omega'_t(t) - \gamma) - a_1 \mu f(t) q(0, t) = 0 .$$

The solution of the system will be

$$a_1 = \frac{12}{\alpha + \beta} , C = 0 ,$$

$$\Omega(t) = -\frac{\gamma}{\lambda^2 - 4\mu - 1} t + \frac{1}{\lambda^2 - 4\mu - 1} \int_0^t f(\tau) q(0, \tau) d\tau + \Omega^0 , \tag{18}$$

λ , μ and Ω^0 are arbitrary constants.

Using the relation (18), the expression (14) can be represented as an equality

$$q(\xi) = \frac{12}{\alpha + \beta} \left(\frac{G'}{G}\right) + a_0 , \tag{19}$$

where

$$\xi = x + \frac{\gamma}{\lambda^2 - 4\mu - 1} t - \frac{1}{\lambda^2 - 4\mu - 1} \int_0^t f(\tau) q(0, \tau) d\tau - \Omega^0 .$$

Function (19) will express the solution of equation (9) in the case when the integration constant in equation (9) corresponds to similar conditions (18). When substituting the general solution of equation (11) into (19), three types of solutions of the loaded traveling wave equation (1) for shallow water are obtained when $\lambda^2 - 4\mu > 0$,

$$q(\xi) = a_0 + 6 \frac{\left[(c_1 \sqrt{\lambda^2 - 4\mu} - c_2 \lambda) + (c_2 \sqrt{\lambda^2 - 4\mu} - c_1 \lambda) \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} \xi \right]}{(\alpha + \beta)(c_2 + c_1 \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} \xi)}, \quad (20)$$

where

$$\xi = x + \frac{\gamma}{\lambda^2 - 4\mu - 1} t - \frac{1}{\lambda^2 - 4\mu - 1} \int_0^t f(\tau) q(0, \tau) d\tau - \Omega^0,$$

c_1, c_2 and Ω^0 are arbitrary constants. It is clear that finding a function $q(0, t)$ will not cause difficulties based on expression (20).

For example, let the function $f(t)$ be given in the form

$$f(t) = \left(\gamma t - (\lambda^2 - 4\mu - 1) \sum_{j=1}^n j \alpha_j t^{j-1} \right) \times \\ \times \frac{(\alpha + \beta) \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} \sum_{j=1}^n \alpha_j t^j}{a_0 (\alpha + \beta) \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} \sum_{j=1}^n \alpha_j t^j - 6(\sqrt{\lambda^2 - 4\mu} + \lambda \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} \sum_{j=1}^n \alpha_j t^j)},$$

where $\alpha_j (j = 1, 2, \dots, n)$, if $c_1 \neq 0, c_2 = 0$ and $\lambda^2 - 4\mu > 0$, that $q(x, t)$ can be expressed

$$q(x, t) = \frac{a_0 (\alpha + \beta) \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} (x - \sum_{j=1}^n \alpha_j t^j) + 6(\sqrt{\lambda^2 - 4\mu} - \lambda \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} (x - \sum_{j=1}^n \alpha_j t^j))}{(\alpha + \beta) \tanh \sqrt{\frac{\lambda^2 - 4\mu}{4}} (x - \sum_{j=1}^n \alpha_j t^j)}. \quad (21)$$

Then the last relation (21) will be the solution of the equation of a loaded wave in shallow water

$$q_{xxx} + \alpha q_x q_{xt} + \beta q_t q_{xx} - q_{xt} - \gamma q_{xx} - \left((\lambda^2 - 4\mu - 1) \sum_{j=1}^n j \alpha_j t^{j-1} - \gamma t \right) q_{xx} = 0. \quad (22)$$

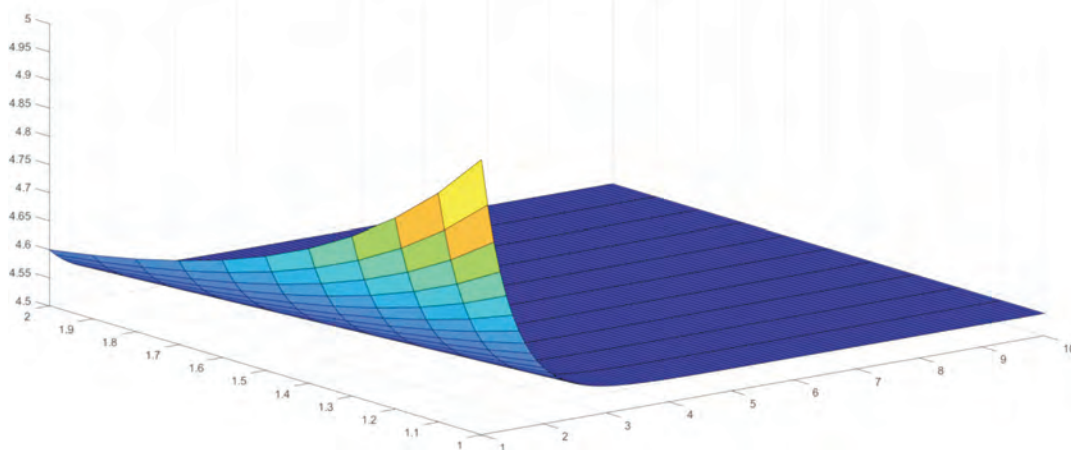


Figure 1 – Solution (21) of the loaded wave equation in shallow water (22) for $\lambda = 2\sqrt{2}$, $\mu = 1$, $a_0 = 1$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$, $n = 1$, $\alpha_1 = -1$, $t \in [1, 2]$, $x \in [1, 10]$

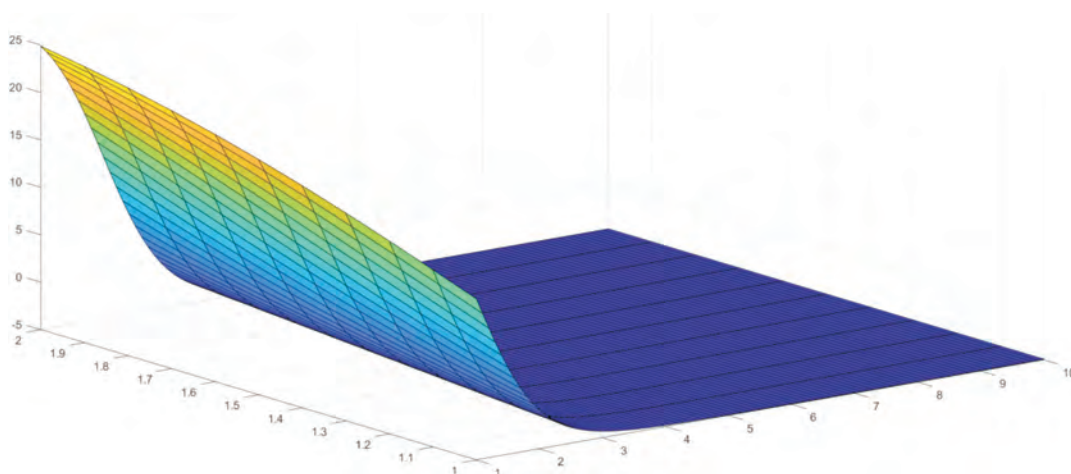


Figure 2 – Solution (21) of the loaded wave equation in shallow water (22) for $\lambda = 2\sqrt{2}$, $\mu = 1$, $a_0 = 1$, $\alpha = -1$, $\beta = 1$, $n = 1$, $\alpha_1 = 1$, $t \in [1, 2]$, $x \in [1, 10]$

REFERENCES

- 1 Bekir A. Application of the (G'/G) -expansion method for nonlinear evolution equations. Phys. Lett. A, 2008, vol. 372, p. 3400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2008.01.057>
- 2 Bekir A., Guner O. Exact solutions of nonlinear fractional differential equations by (G'/G) -expansion method. Chin. Phys. B, 2013, vol. 22, p. 110202. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/22/11/110202>
- 3 Li Z.L. Constructing of new exact solutions to the GKdV-mKdV equation with any-order nonlinear terms by (G'/G) -expansion method. Appl. Math. Comput., 2010, vol. 217, p. 1398. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.05.034>

4 Shang N., Zheng B. Exact Solutions for Three Fractional Partial Differential Equations by the (G'/G) Method. *Int. J. Appl. Math.*, 2013, vol. 43, p. 114.

5 Wang M., Li X., Zhang J. The (G'/G) -expansion method and travelling wave solutions of nonlinear evolution equations in mathematical physics. *Phys Lett. A.*, 2008, vol. 372, p. 417. <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2007.07.051>

6 Zayed E.M. The (G'/G) -expansion method and its applications to some nonlinear evolution equations in the mathematical physics. *J. Appl. Math. Comput.*, 2009, vol. 30, p. 89. <https://doi.org/10.1007/s12190-008-0159-8>

7 Zayed E.M. The (G'/G) -expansion method combined with the Riccati equation for finding exact solutions of nonlinear PDEs. *J. Appl. Math. Inform.*, 2011, vol. 29, p. 351.

8 Zayed E.M., Alurr K.A. Extended generalized (G'/G) -expansion method for solving the nonlinear quantum Zakharov Kuznetsov equation. *Ricerche Mat.*, 2016, vol. 65, p. 235.

9 Zayed E.M.E. The (G'/G) expansion method and its applications to some nonlinear evolution equations in the mathematical physics. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 2009, vol. 30, p. 89.

10 Zayed E.M.E., Gepreel K.A. The (G'/G) expansion method for finding traveling wave solutions of nonlinear partial differential equations in mathematical physics. *Journal of Mathematical Physics*, 2009, vol. 50, p. 013502. <https://doi.org/10.1063/1.3033750>

11 Zhang S., Tong J.L., Wang W. A generalized (G'/G) -expansion method for the mKdV equation with variable coefficients. *Phys. Lett. A*, 2008, vol. 372, p. 2254. <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2007.11.026>

12 H.Kheirim, R.Moghaddam, V.Vafaei. Application of the (G'/G) -expansion method for the Burgers, Burgers–Huxley and modified Burgers–KdV equations. *Pramana – Journal of Physics*, 2011, Vol 76, Issue 6, pp. 831-842.

13 Urazboev G.U., Baltaeva I.I., Rakhimov I.D. A generalized (G'/G) -expansion method for the loaded Korteweg-de Vries equation. *Sibirskii Zhurnal Industrial'noi Matematiki*, 2021, vol. 24, p. 139. <https://doi.org/10.33048/SIBJIM.2021.24.410> (in Russian)

14 G.U. Urazboev, A.T. Baimankulov, M.M. Hasanov, T.A. Zhuaspayev. Periodic solutions of the modified Korteweg – de Vries equation in hemodynamics. *Herald National Academy of Engineering Republic of Kazakhstan*, 2023, No. 1 (87), pp. 95-102.

***A. Т. БАЙМАНКУЛОВ¹, М. М. ХАСАНОВ²,
А. О. ИСМАИЛОВ³, О. Ю. ГАНЖАЕВ²***

¹А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті,

²Ургенч мемлекеттік университеті (Өзбекстан),

³М. Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті

ЖАЛПЫЛАНҒАН ТАЯЗ СУДЫҢ ЖҮКТЕЛГЕН ТОЛҚЫНДЫҚ ТЕҢДЕУІНЕ АРНАЛҒАН (G'/G) КЕҢЕЙТУ ӘДІСІ

Бұл мақала таяз суларда жүктелген толқындық теңдеудің шешімдерін табуға арналған. Шешімдерді алудың ең тиімді әдістерінің бірі болып табылатын (G'/G) кеңейту әдісімен шешімдерді іздеу тәсілдерінің бірі келтірілген. Параметрлер арнайы мәндер ретінде алынған кезде, жалғыз толқындар да қозғалатын толқындардан шығарылады. Жүгіру толқынының шешімдері гиперболалық және тригонометриялық функциялармен көрсетілген. Бұл әдіс математикалық

физиканың күрделі сызықтық емес эволюциялық теңдеулерін шешуге мүмкіндік беретін белгілі бағдарламалық пакеттерді қолдану арқылы оңай жүзеге асырылады.

Түйін сөздер: кеңейту әдісі, эволюциялық теңдеулер, үздіксіз функция, жүктелген теңдеу, таяз судағы толқындық теңдеу.

А. Т. БАЙМАНКУЛОВ¹, М. М. ХАСАНОВ², А. О. ИСМАИЛОВ³, О.Ю. ГАНЖАЕВ³

¹Костанайский региональный университет им. А.Байтурсынова,

²Ургенчский государственный университет (Узбекистан),

³Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова

ОБОБЩЕННЫЙ (G'/G) МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ НАГРУЖЕННОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ МЕЛКОВОДЬЯ

Данная статья посвящена нахождению решений нагруженного волнового уравнения бегущей волны на мелководье. Приводится один из подходов поиска решений (G'/G) методом расширения, который является одним из наиболее действенных способов получения решений. Когда параметры берутся в качестве специальных значений, уединенные волны также выводятся из бегущих волн. Решения для бегущей волны выражаются гиперболическими и тригонометрическими функциями. Этот метод легко реализовать с использованием известных программных пакетов, которые позволяют решать сложные нелинейные эволюционные уравнения математической физики.

Ключевые слова: метод расширения, эволюционные уравнения, непрерывная функция, нагруженное уравнение, волновое уравнение на мелководье.

А. К. МУРАТОВА

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Алматы, Қазақстан

E-mail: mrtvalua@gmail.com

СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН ИНТЕГРАЛДЫ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІ ҮШІН ШЕТТІК ЕСЕП ШЕШІМІНІҢ АСИМПТОТИКАЛЫҚ БАҒАЛАУЫ

Мақалада сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін шеттік есеп қарастырылады. Жұмыстың мақсаты шеттік есеп шешімінің аналитикалық формуласын, асимптотикалық бағалауын алу, шешімнің бастапқы нүктедегі кіші параметр бойынша асимптотикалық сипатын анықтау болып табылады. Жұмыста берілген шеттік есеп жылдам айнымалысы бойынша аралас типті сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеуге қойылған шеттік есепке келтірілді. Сингулярлы ауытқыған біртекті дифференциалдық теңдеудің Коши функциясы, шекаралық функциялары және Грин функциясы құрылып, олардың асимптотикалық бағалаулары алынды. Осы құрылған функциялардың көмегімен берілген шеттік есеп шешімінің аналитикалық формуласы және асимптотикалық бағалауы алынды. Шешімнің кіші параметр бойынша асимптотикалық сипаты анықталып, оның туындыларының берілген кесіндінің сол жақ нүктесіндегі өсу реті көрсетілді. Қарастырылып отырған шеттік есеп шешімінің бастапқы нүктеде нөлінші ретті бастапқы секірісінің бар болатыны анықталды.

***Түйін сөздер:** сингулярлы ауытқу, кіші параметр, интегралды-дифференциалдық теңдеу, асимптотикалық бағалау, бастапқы секіріс.*

Кіріспе. Ғылымның физика, химия, биология, механика, техника және т.б. сияқты салаларындағы көптеген процесстердің математикалық модельдері көбінесе жоғарғы туындыларында кіші параметрлері бар дифференциалдық және интеграл-дифференциалдық теңдеулер болып табылады. Мұндай теңдеулер қазіргі уақытта сингулярлы ауытқыған теңдеулер деп аталады. Сондықтан мұндай теңдеулерді зерттеу өзекті мәселе болып табылады.

Schlesinger L., Birkhoff G.D., Noaillon P еңбектерінен бастап асимптотикалық интегралдау теориясы мақсатты түрде дами бастады. Сингулярлық ауытқулар теориясының жүйелі дамуы А.Н. Тихоновтың [1], [2] іргелі зерттеулерінен кейін басталды. Теорияның негізгі бағыттарын одан әрі дамытуға Л.С.Понтрягин [3], Е.Ф.Мищенко, Н.Х.Розов [4], Н.М.Крылов, Н.Н.Митропольский [5], М.И. Вишик, Л.А. Люстерник [6], А.Б. Васильева, В.Ф. Бутузов [7], С.А. Ломов [8], Иманалиев М.И. [9], Wasow W. [10], Van Dyke M. [11], Chang K. W., Howes F. A. [12] және т.б. елеулі үлес қосты.

М.И. Вишик, Л.А.Люстерник [13] және К.А. Қасымов [14] еңбектерінде кіші параметр нөлге ұмтылғанда бастапқы мәндері шенелмеген бастапқы есептер бірінші болып зерттелді. Мұндай есептер бастапқы секірісті Коши есептері деп аталады. Бұл есептердің сипатты ерекшелігі сингулярлы ауытқыған бастапқы есептің шешімі кіші параметр нөлге ұмтылғанда, ауытқымаған теңдеудің шешіміне ұмтылады, бірақ бастапқы шарттары өзгереді. Бұл жағдайда бастапқы секіріс құбылысы орын алады дейміз.

Кейбір шеттік есептерді зерттеу барысында мұндай есептердің бастапқы секірісті Коши есептеріне пара-пар екені анықталды. [15] жұмысында сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін интегралды шеттік есеп зерттелінген.

Ал бұл жұмыста сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін шеттік есеп қарастырылып, оның шешімінің асимптотикалық сипаты анықталған.

Есептің қойылымы. Сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеулер жүйесін

$$\begin{cases} \varepsilon z'' + A_1(t)z' + B_1(t)z + C_1(t)y = F_1(t) + \int_0^1 (H_0(t,x)z(x,\varepsilon) + H_1(t,x)z'(x,\varepsilon) + H_2(t,x)y(x,\varepsilon)) dx \\ y' + A_2(t)z' + B_2(t)z + C_2(t)y = F_2(t) + \int_0^1 (L_0(t,x)z(x,\varepsilon) + L_1(t,x)z'(x,\varepsilon) + L_2(t,x)y(x,\varepsilon)) dx \end{cases} \quad (1)$$

келесі

$$h_1 z(t, \varepsilon) \equiv z(0, \varepsilon) = \alpha, \quad h_2 z(t, \varepsilon) \equiv z(1, \varepsilon) = \beta, \quad h_3 y(t, \varepsilon) \equiv y(0, \varepsilon) = \gamma \quad (2)$$

шекаралық шарттармен қарастырайық, мұндағы, $\varepsilon > 0$ -кіші параметр, α, β, γ – белгілі тұрақтылар.

(1), (2) шеттік есеп үшін келесі шарттар орындалсын:

I. $A_i(t), B_i(t), C_i(t), F_i(t), i = 1, 2$ - $[0, 1]$ кесіндісінде, ал $H_i(t, x), L_i(t, x), i = 0, 1, 2$ - $D = (0 \leq t, x \leq 1)$ облысында үзіліссіз дифференциалданатын функциялар

II. $A_1(t) \geq \delta = const > 0, A_2(t) \neq 0, 0 \leq t \leq 1$

III. $\lambda = 1$ саны $J(t, s) = \int_s^1 L_2(t, x) \exp\left(-\int_s^x C_2(p) dp\right) dx$ өзегінің меншікті мәні болмасын.

IV. $h_2 z_{10}(t) \neq 0$.

V. $\lambda = 1$ саны ε параметрінің жеткілікті аз мәнінде $H(t, s, \varepsilon)$ өзегінің меншікті мәні болмасын.

Берілген теңдеуге сәйкес сингулярлы ауытқыған біртекті дифференциалдық теңдеуді қарастырамыз:

$$L_\varepsilon z \equiv \varepsilon z'' + A_1(t)z' + B_1(t)z = 0 \quad (3)$$

Лемма. Егер I, II шарттары орындалса, онда (3) теңдеудің іргелі шешімдер жүйесі үшін $\varepsilon \rightarrow 0$ болғанда мынадай асимптотикалық формула орындалады:

$$z_1^{(j)}(t, \varepsilon) = z_{10}^{(j)}(t) + 0(\varepsilon), \quad j = 0, 1, \quad (4)$$

$$z_1^{(j)}(t, \varepsilon) = \varepsilon^{-j} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \mu(x) dx} (\mu^j(t) z_{20}(t) + 0(\varepsilon)), \quad j = 0, 1,$$

мұндағы, $\mu(t) = -A_1(t) < 0$, ал $z_{i0}(t), i = 1, 2$ функциялары келесі есептерден анықталады:

$$A_1(t)z'_{10}(t) + B_1(t)z_{10}(t) = 0, \quad z_{10}(0) = 1,$$

$$A_1(t)z'_{20}(t) + (A_1'(t) - B_1(t))z_{20}(t) = 0, \quad z_{20}(0) = 1$$

$K(t, s, \varepsilon)$, $0 \leq s \leq t \leq 1$ функциясын Коши функциясы дейміз, егер ол келесі есептің шешімі болса:

$$\begin{cases} L_\varepsilon K(t, s, \varepsilon) = 0, \\ K(s, s, \varepsilon) = 0, K'(s, s, \varepsilon) = 1 \end{cases} \quad (5)$$

Егер I, II шарттары орындалса, онда $K(t, s, \varepsilon)$ Коши функциясы $0 \leq s \leq t \leq 1$ облысында бар, жалғыз болады және төмендегі формуламен өрнектеледі:

$$K(t, s, \varepsilon) = \frac{W_2(t, s, \varepsilon)}{W(s, \varepsilon)}, \quad (6)$$

мұндағы $W(s, \varepsilon) \neq 0$ - іргелі шешімдер жүйесінен құралған вронскиан, ал $W_2(t, s, \varepsilon)$ - вронскиан $W(s, \varepsilon)$ -тің 2-ші жатық жолын $z_1(t, \varepsilon)$, $z_2(t, \varepsilon)$ іргелі шешімдер жүйесімен алмастырғаннан алынатын анықтауыш.

(6) формуладан (4) көмегімен Коши функциясының асимптотикалық сипатын төмендегідей аламыз:

$$\begin{aligned} K(t, s, \varepsilon) &= \frac{e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \mu(x) dx} (z_{10}(s)z_{20}(t) + O(\varepsilon)) - e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^s \mu(x) dx} (z_{20}(s)z_{10}(t) + O(\varepsilon))}{\frac{1}{\varepsilon} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^s \mu(x) dx} (\mu(s)z_{10}(s)z_{20}(s) + O(\varepsilon))} = \\ &= \varepsilon \left[-\frac{z_{10}(s)}{\mu(s)z_{10}(s)} + \frac{z_{20}(s)}{\mu(s)z_{20}(s)} e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu(x) dx} + O(\varepsilon) \right], \end{aligned} \quad (7)$$

$$K'(t, s, \varepsilon) = -\varepsilon \frac{z'_{10}(t)}{\mu(s)z_{10}(s)} + e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu(x) dx} \frac{z_{20}(t)\mu(t)}{\mu(s)z_{20}(s)} + O(\varepsilon^2 + \varepsilon e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu(x) dx})$$

Анықтама. $\Phi_i(t, \varepsilon)$, $i = 1, 2$ функциялары төмендегі есептің

$$\begin{cases} L_\varepsilon \Phi_i(t, \varepsilon) = 0, & i = 1, 2 \\ h_k \Phi_i(t, \varepsilon) = \delta_{k,i} & k = 1, 2 \end{cases} \quad (8)$$

шешімі болса, онда олар шекаралық функциялар деп аталады, мұндағы δ_{ki} – Кронекер символы.

Шекаралық функциялар келесі түрде өрнектеледі:

$$\Phi_i(t, \varepsilon) = \frac{\Delta_i(t, \varepsilon)}{\Delta(\varepsilon)}, \quad i = 1, 2, \quad (9)$$

мұндағы

$$\Delta(\varepsilon) = \begin{vmatrix} h_1 z_1(t, \varepsilon) & h_1 z_2(t, \varepsilon) \\ h_2 z_1(t, \varepsilon) & h_2 z_2(t, \varepsilon) \end{vmatrix},$$

ал $\Delta_i(t, \varepsilon) - \Delta(\varepsilon)$ анықтаушынан оның i -ші жатық жолын $L_\varepsilon z = 0$ теңдеуінің $z_1(t, \varepsilon)$, $z_2(t, \varepsilon)$ іргелі шешімдер жүйесімен алмастырғаннан алынған анықтауыш.

(9) формуладан (4) көмегімен шекаралық функциялардың асимптотикалық сипатын аламыз:

$$\Phi_1(t, \varepsilon) = \frac{-e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \mu(x) dx} (h_2 z_{10}(t) z_{20}(t) + O(\varepsilon))}{-h_2 z_{10}(t) + O(\varepsilon)} = e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \mu(x) dx} (z_{20}(t) + O(\varepsilon)),$$

$$\mathcal{S}_2(t, \varepsilon) = \frac{z_{10}(t)}{h_2 z_{10}(t)} - e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \mu(x) dx} \frac{h_1 z_{10}(t) z_{20}(t)}{h_2 z_{10}(t)} + O(\varepsilon)$$
(10)

Енді (6), (9) формулалармен анықталатын Коши және шекаралық функциялардың көмегімен берілген шеттік есептің Грин функциясын құрамыз:

$$G(t, s, \varepsilon) = \begin{cases} -\frac{K(1, s, \varepsilon)}{\varepsilon} \mathcal{S}_2(t, \varepsilon), & 0 \leq t \leq s, \\ -\frac{K(1, s, \varepsilon)}{\varepsilon} \mathcal{S}_2(t, \varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon} K(t, s, \varepsilon), & s \leq t \leq 1 \end{cases}$$
(11)

Негізгі нәтижелер.

Теорема 1. Егер I-V шарттар орындалатын болса, онда берілген (1), (2) шекаралық есептің шешімі $[0, 1]$ кесіндісінде бар, жалғыз және келесі формула арқылы өрнектеледі:

$$z(t, \varepsilon) = \alpha \Phi_1(t, \varepsilon) + \beta \Phi_2(t, \varepsilon) + \int_0^1 G(t, s, \varepsilon) F(s, \varepsilon) ds,$$
(12)

$$y(t, \varepsilon) = \alpha \bar{\Phi}_1(t, \varepsilon) + \beta \bar{\Phi}_2(t, \varepsilon) + \bar{F}_2(t) + \int_0^1 \bar{G}(t, s, \varepsilon) F(s, \varepsilon) ds,$$

мұндағы $\mathcal{S}_1(t, \varepsilon), \mathcal{S}_2(t, \varepsilon)$ және $G(t, s, \varepsilon)$ - шекаралық және Грин функциялары,

$$\bar{\Phi}_i(t, \varepsilon) = \int_0^1 (\bar{L}_0(t, x) \Phi_i(x, \varepsilon) + \bar{L}_1(t, x) \Phi_i'(x, \varepsilon)) dx +$$

$$+ \int_0^t (\bar{B}_2(t, x) \Phi_i(x, \varepsilon) + \bar{A}_2(t, x) \Phi_i'(x, \varepsilon)) dx, \quad i = 1, 2,$$

$$\begin{aligned}
\bar{G}(t, s, \varepsilon) &= \int_0^1 (\bar{L}_0(t, x)G(x, s, \varepsilon) + \bar{L}_1(t, x)G'_x(x, s, \varepsilon))dx + \\
&\quad + \int_0^t (\bar{B}_2(t, x)G(x, s, \varepsilon) + \bar{A}_2(t, x)G'_x(x, s, \varepsilon))dx, \\
\bar{F}_2(t) &= \gamma e^{-\int_0^t C_2(p)dp} + \int_0^t \left(\bar{F}_2(s) + \gamma \int_0^1 \bar{L}_2(s, x) e^{-\int_0^x C_2(p)dp} dx \right) e^{-\int_s^t C_2(p)dp} ds, \\
\bar{L}_0(t, x) &= \int_0^t (\bar{L}_0(s, x) - R(s, x)B_2(x)) e^{-\int_s^t C_2(p)dp} ds, \\
\bar{L}_1(t, x) &= \int_0^t (\bar{L}_1(s, x) - R(s, x)A_2(x)) e^{-\int_s^t C_2(p)dp} ds, \\
\bar{A}_2(t, x) &= -A_2(x) e^{-\int_x^t C_2(p)dp}, \quad \bar{B}_2(t, x) = -B_2(x) e^{-\int_x^t C_2(p)dp}, \\
\bar{F}_2(s) &= F_2(s) + \int_0^1 R(s, x)F_2(x)dx, \\
\bar{L}_i(s, x) &= L_i(s, x) + \int_0^1 R(s, p)L_i(p, x)dp, i = \overline{0, 2},
\end{aligned} \tag{13}$$

ал $F(t, \varepsilon)$ функциясы келесі екінші текті Фредгольм интегралдық теңдеуінен анықталады:

$$F(t, \varepsilon) = g(t, \varepsilon) + \int_0^1 H(t, s, \varepsilon)F(s, \varepsilon)ds, \tag{14}$$

мұндағы

$$\begin{aligned}
H(t, s, \varepsilon) &= \int_0^t (M_0(t, x)G(x, s, \varepsilon) + M_1(t, x)G'_x(x, s, \varepsilon))dx + \\
&\quad + \int_0^1 (N_0(t, x)G(x, s, \varepsilon) + N_1(t, x)G'_x(x, s, \varepsilon))dx,
\end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
g(t, \varepsilon) &= F(t) + \alpha \left[\int_0^t (M_0(t, x)\Phi_1(x, \varepsilon) + M_1(t, x)\Phi'_1(x, \varepsilon))dx + \right. \\
&\quad \left. + \int_0^1 (N_0(t, x)\Phi_1(x, \varepsilon) + N_1(t, x)\Phi'_1(x, \varepsilon))dx \right] +
\end{aligned}$$

$$+\beta \left[\int_0^t (M_0(t,x)\Phi_2(x,\varepsilon) + M_1(t,x)\Phi'_2(x,\varepsilon))dx + \int_0^1 (N_0(t,x)\Phi_2(x,\varepsilon) + N_1(t,x)\Phi'_2(x,\varepsilon))dx \right]$$

Теорема 2. Егер I-V шарттар орындалатын болса, онда $0 \leq t \leq 1$ кесіндісінде берілген (1), (2) шеттік есептің $z(t,\varepsilon), y(t,\varepsilon)$ шешімі үшін $\varepsilon \rightarrow 0$ кезінде келесі асимптотикалық бағалау дұрыс болады:

$$\begin{aligned} |z(t,\varepsilon)| &\leq C \left(\left| \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) A_2(0) + \gamma \right| + |\beta| + \max_{0 \leq t \leq 1} \left| F_1(t) - \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) H_1(t,0) \right| + \right. \\ &+ \max_{0 \leq t \leq 1} \left| F_2(t) - \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) L_1(t,0) \right| \Big) + C \left| \alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right| e^{-\frac{\delta t}{\varepsilon}}, \\ |z'(t,\varepsilon)| &\leq C \left(\left| \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) A_2(0) + \gamma \right| + |\beta| + \max_{0 \leq t \leq 1} \left| F_1(t) - \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) H_1(t,0) \right| + \right. \\ &+ \max_{0 \leq t \leq 1} \left| F_2(t) - \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) L_1(t,0) \right| \Big) + \frac{C}{\varepsilon} \left| \alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right| e^{-\frac{\delta t}{\varepsilon}}, \\ |y(t,\varepsilon)| &\leq C \left(\left| \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) A_2(0) + \gamma \right| + |\beta| + \max_{0 \leq t \leq 1} \left| F_1(t) - \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) H_1(t,0) \right| + \right. \\ &+ \max_{0 \leq t \leq 1} \left| F_2(t) - \left(\alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right) L_1(t,0) \right| \Big) + C \left| \alpha - \frac{\beta}{z_{10}(1)} \right| e^{-\frac{\delta t}{\varepsilon}}, \end{aligned} \tag{16}$$

мұндағы, $C > 0$, $\delta > 0$ – ε - нан тәуелсіз тұрақтылар.

Теореманың дәлелдеуі (12) формуладан (7), (10), (11). Бұл бағалаулардан (1), (2) шеттік есеп шешімінің $t = 0$ нүктесіндегі келесі өсу ретін көреміз:

$$z(0,\varepsilon) = O(1), \quad z'(0,\varepsilon) = O\left(\frac{1}{\varepsilon}\right), \quad y(0,\varepsilon) = O(1), \quad y'(0,\varepsilon) = O\left(\frac{1}{\varepsilon}\right), \quad \varepsilon \rightarrow 0,$$

яғни $t = 0$ нүктесінде берілген шеттік есеп шешімі үшін нөлінші ретті бастапқы секіріс құбылысы орын алады.

ӘДЕБИЕТ

1 Тихонов А.Н. О зависимости решений дифференциальных уравнений от малого параметра // Матем. сб. 1948, 22 (64), № 2. С. 193 - 204.

2 Тихонов А.Н. Системы дифференциальных уравнений, содержащие малые параметры при производных // Матем. сб. 1952, 31 (73), № 3. С. 575 - 586.

- 3 Понтрягин Л.С. Асимптотическое поведение решений систем дифференциальных уравнений с малым параметром при высших производных. // Изв. АН СССР, 1957, 21:3, с.605-626.
- 4 Мищенко Е.Ф., Розов Н.Х. Дифференциальные уравнения с малым параметром и релаксационные колебания. М.: Наука, 1975. 248 с.
- 5 Крылов Н.М., Боголюбов Н.Н. Введение в нелинейную механику. М.: Изд. АН СССР. – 1937. – 112 с.
- 6 Вишик М.И., Люстерник Л.А. Регулярное вырождение и пограничный слой для линейных дифференциальных уравнений с малым параметром // УМН. 1957. Т.12, № 5. С. 3 – 122.
- 7 Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных уравнений. – М.: Наука, 1973, 272 с.
- 8 Ломов С.А. Введение в общую теорию сингулярных возмущений. – М.: Наука, 1981, 400 с.
- 9 Иманалиев М.И. Асимптотические методы в теории сингулярно возмущенных интегродифференциальных систем. Фрунзе: Илим, 1972, 356 с.
- 10 Wasow W. Asymptotic expansions for ordinary differential equations, WileyInterscience, New York, 1965.
- 11 Van Dyke M. Perturbation methods in fluid mechanics, The Parabolic Press, Stanford, Calif., 1975.
- 12 Chang K. W., Howes F. A. Nonlinear Singular Perturbation Phenomena: Theory and Applications, Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- 13 Вишик М.И., Люстерник Л.А. О начальном скачке для нелинейных дифференциальных уравнений, содержащих малый параметр. // ДАН СССР, 1960, 132 6, 251-253.
- 14 Касымов К.А. Об асимптотике решения задачи Коши с большими начальными условиями для нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, содержащих малый параметр. // УМН, 1962, 17 В 5, с.187-188.
- 15 M.K. Dauylbaev, K.T. Konisbayeva, N.R. Tortbay Integral BVP for singularly perturbed system of differential equations. // International Journal of Mathematics and Physics 12, №1, 25(2021). С. 25-33.

REFERENCES

- 1 Tihonov A.N. O zavisimosti reshenij differencial'nyh uravnenij ot malogo parametra // Matem. sb. 1948, 22 (64), № 2. S. 193 - 204.
- 2 Tihonov A.N. Sistemy differencial'nyh uravnenij, soderzhashchie malye parametry pri proizvodnyh // Matem. sb. 1952, 31 (73), № 3. S. 575 - 586.
- 3 Pontryagin L.S. Asimptoticheskoe povedenie reshenij sistem differencial'nyh uravnenij s malym parametrom pri vysshih proizvodnyh. // Izv. AN SSSR, 1957, 21:3, s.605-626.
- 4 Mishchenko E.F., Rozov N.H. Differencial'nye uravneniya s malym parametrom i relaksacionnye kolebaniya. M.: Nauka, 1975. 248 s.
- 5 Krylov N.M., Bogolyubov N.N. Vvedenie v nelinejnyuyu mekhaniku. M.: Izd. AN SSSR. – 1937. – 112 s.
- 6 Vishik M.I., Lyusternik L.A. Regulyarnoe vyrozhdienie i pogramichnyj sloj dlya linejnyh differencial'nyh uravnenij s malym parametrom // UMN. 1957. T.12, № 5. S. 3 – 122.
- 7 Vasil'eva A.B., Butuzov V.F. Asimptoticheskie razlozheniya reshenij singulyarno vozmushchennyh uravnenij. – М.: Nauka, 1973, 272 с.
- 8 Lomov S.A. Vvedenie v obshchuyu teoriyu singulyarnyh vozmushchenij. – М.: Nauka, 1981, 400 s.
- 9 Imanaliev M.I. Asimptoticheskie metody v teorii singulyarno vozmushchennyh integrodifferencial'nyh sistem. Frunze: Ilim, 1972, 356 с.
- 10 Wasow W. Asymptotic expansions for ordinary differential equations, WileyInterscience, New York, 1965.

11 Van Dyke M. Perturbation methods in fluid mechanics, The Parabolic Press, Stanford, Calif., 1975.

12 Chang K. W., Howes F. A. Nonlinear Singular Perturbation Phenomena: Theory and Applications, Berlin: Springer-Verlag, 1984.

13 Vishik M.I., Lyusternik L.A. O nachal'nom skachke dlya nelinejnyh differencial'nyh uravnenij, sodержashchih malyj parametr. // DAN SSSR, 1960, 132 6, 251-253.

14 Kasymov K.A. Ob asimptotike resheniya zadachi Koshi s bol'shimi nachal'nymi usloviyami dlya nelinejnyh obyknovennyh differencial'nyh uravnenij, sodержashchih malyj parametr. // UMN, 1962, 17 V 5, s.187-188.

15 M.K. Dauylbaev, K.T. Konisbayeva, N.R. Tortbay Integral BVP for singularly perturbed system of differential equations. // International Journal of Mathematics and Physics 12, №1, 25(2021). S. 25-33.

A. K. МУРАТОВА

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В статье рассматривается асимптотическое поведение решений краевой задачи для сингулярно возмущенных систем интегро-дифференциальных уравнений. Целью работы является получение аналитической формулы, асимптотической оценки решения краевой задачи, определение асимптотического поведения решения по малому параметру в начальной точке. Заданная в работе краевая задача приведена к краевой задаче, поставленной в сингулярно возмущенное интегрально-дифференциальное уравнение смешанного типа по быстрой переменной. Получены функция Коши, граничные функции и функция Грина сингулярно возмущенного однородного дифференциального уравнения, также определены их асимптотические оценки. С помощью этих построенных функций получена аналитическая формула и асимптотическая оценка данного решения краевой задачи. Определено асимптотическое поведение решения по малому параметру и показан порядок роста его производных в левой точке заданного отрезка. Установлено, что решение рассматриваемой краевой задачи имеет начальный скачок нулевого порядка в начальной точке.

Ключевые слова: сингулярное возмущение, малый параметр, интегрально-дифференциальное уравнение, асимптотическая оценка, начальный скачок.

A. K. MURATOVA

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

ASYMPTOTIC BEHAVIOR OF THE SOLUTION OF THE BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR A SINGULARLY PERTURBED SYSTEM OF THE INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS

In this paper, we study the asymptotic behavior of solutions to the boundary value problem for singularly perturbed systems of integro-differential equations. The aim of the work is to obtain an analytical formula, an asymptotic estimate of the solution of a boundary value problem, and to determine the asymptotic behavior of the solution by a smaller parameter at the starting point. The boundary value problem given

in the paper is reduced to a boundary value problem posed in a singularly perturbed integral-differential equation of mixed type with respect to a fast variable. The Cauchy function, boundary functions and Green's function of a singularly perturbed homogeneous differential equation are obtained, and their asymptotic estimates are also determined. With the help of these constructed functions, an analytical formula and an asymptotic estimate of this solution of the boundary value problem are obtained. The asymptotic behavior of the solution with respect to a small parameter is determined and the order of growth of its derivatives at the left point of a given segment is shown. It is established that the solution of the boundary value problem under consideration has an initial jump of zero order at the initial point.

Key words: *singular perturbation, small parameter, integral-differential equation, asymptotic estimation, initial jump.*

S. T. MUKHAMBETZHANOV^{1*}, A. A. MUSSINA², K. P. AMAN³

¹*Al Farabi Kazakh National University
Almaty, Kazakhstan*

^{2,3}*Zhubanov Aktobe Regional University
Aktobe, Kazakhstan*

mukhambetzhanov_@mail.ru, alla.mussina@mail.ru, kulnar@inbox.ru

CONSTRUCTION OF EFFECTIVE COMPUTATIONAL ALGORITHMS FOR SOLVING FREE BOUNDARY PROBLEMS

An efficient method for numerically solving the one-dimensional Stefan problem is proposed herein. A computational algorithm for solving free boundary problems has been developed. This provides a means of solving problems with an arbitrary and variable number of phases, both in terms of thermal conductivity and diffusion. The solution algorithm is based on the application of the finite element method. The calculations are performed according to a homogeneous scheme. This makes the method universal and renders it possible to be referred to the class of shock-capturing methods. Accurate tracking of the position of the boundaries is carried out, in the same manner as in the methods with edge detection, which makes it possible to solve problems with high accuracy, inherent in methods of this type.

Key words: *free (unknown) boundaries, finite element method, Stefan's problem, heat conduction equation, diffusion equation, approximation order, shock-capturing scheme.*

Introduction. The relevance of free (indeterminate) boundary problems is due to numerous applications. The construction of computational algorithms for solving free boundary problems has long attracted the attention of many scientists.

At present, the methods for the numerical solution of moving boundary problems can be conditionally divided into two groups: shock-capturing methods and explicit edge detection methods. It should be noted that shock-capturing methods provide a means of solving problems of a multiphase and multidimensional problem of thermal conductivity, but they are not suitable for solving practical problems and have a low accuracy in determining the position of free boundaries. Edge detection schemes usually have good accuracy, but are algorithmically cumbersome and unsuitable for solving free (indeterminate) boundary problems [1].

One of the most accurate shock-capturing schemes is built using the finite element method (FEM). It is known that such a scheme has a low order of approximation near free (indeterminate) boundaries. On the other hand, not only the gradient and the solution itself have discontinuities at the phase boundaries in multiphase diffusion problems. A simple change of variables often makes it possible to remove the solution gaps and use some of the shock-capturing methods. However, for problems of non-isothermal diffusion, none of the known methods of this type is applicable.

Research methodology and results. Let the number of phases changes κ times at some, unknown in advance, moments of time $t_1 < t_2 < \dots < t_k$ within the time range from 0 to T .

* E-mail корреспондирующего автора: mukhambetzhanov_@mail.ru

Define $t_0 = 0, t_k + 1 = T$. There are $M = M(j)$ interphase boundaries on the segment $0 \leq x \leq 1$ at $t_j < t < t_{j+1}$

$$0 \leq \xi_1(t) < \dots < \xi_M(t) \leq 1$$

Assume that

$$\xi_0 \equiv 0, \xi_{M+1} \equiv 1 \tag{1.1}$$

Assume that inside each phase: $\xi_i(t) < x < \xi_{i+1}(t)$

The solution $u(x, t)$ is smooth enough in x and t and satisfies the equation:

$$b \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right) \tag{1.2}$$

Where, for simplicity of presentation, the coefficients a, b are considered constant in each phase $a = a_i, b = b_i$ at $x \in (\xi_i(t), \xi_{i+1}(t))$.

The solution values are given on both sides of the moving boundaries

$$\begin{aligned} u(\xi_i(t) - 0, t) &= u_i^l(t) \\ u(\xi_i(t) + 0, t) &= u_i^r(t), \quad i = 1, 2, \dots, M, \end{aligned} \tag{1.3}$$

and boundary conditions

$$\begin{aligned} a_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} &= \varphi_0(u, t); \quad x = 0 \\ -a_M \cdot \frac{\partial u}{\partial x} &= \varphi_M(u, t); \quad x = 1 \end{aligned} \tag{1.4}$$

The movement of the edges is described by Stefan's law:

$$\gamma_i(t) \cdot \frac{d\xi_i}{dt} = a_{i-1} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{\xi_i(t)-0} - a_i \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{\xi_i(t)+0} \tag{1.5}$$

$u(x, 0) = u_0(x)$ and the position of the boundaries existing at the initial moment of time are defined at $t = 0$.

At $t = t_j$ the following situations are possible:

- 1) The solution has reached a critical value at point $x = 0$ or $x = 1$. A new boundary of a new phase appears(emergence);
- 2) The boundary leaves the segment $[0, 1]$ (resorption of the extreme phase);
- 3) Two boundaries merge and disappear (resorption of the internal phase).

In thermal conductivity problems b is a heat capacity, a is a thermal conductivity coefficient; $|\gamma|$ is a latent heat of fusion. Temperature u to the right and to the left of the phase boundary is equal to the melting temperature [2].

In diffusion problems $b = 1, a$ is a diffusion coefficient.

The number of possible types of phases and the concentration values to the right and to the left of the phase boundary are determined from the phase diagram of the state and can change with time with a change in temperature,

$$\gamma_i(t) = u_i^r(t) - u_i^l(t)$$

and the flows of matter (1.4) are usually taken proportional to the difference in the activities of the diffusing matter at the interface between the media; in the general case, the flows of matter nonlinearly depend on concentration.

Let $\eta(x)$ be the arbitrary function from $H^1(0,1)$. Multiply the equation (1.2) by $\eta(x)$, integrate over x inside each phase and sum up the resulting integrals:

$$\sum_{i=0}^M b_i \cdot \int_{\xi_i(t)}^{\xi_{i+1}(t)} \frac{\partial u}{\partial t} \cdot \eta dx = \sum_{i=0}^M \int_{\xi_i(t)}^{\xi_{i+1}(t)} \eta \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(a_i \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx \tag{1.6}$$

Instead of using spatio-temporal finite elements, let us apply FEM only with respect to x , while using the below formula prior to difference approximation of derivatives with respect to time:

$$\int_{\xi_i(t)}^{\xi_{i+1}(t)} \frac{\partial u}{\partial t} \cdot \eta dx = \frac{d}{dt} \int_{\xi_i(t)}^{\xi_{i+1}(t)} u \cdot \eta dx - u \cdot \eta \Big|_{\xi_{i+1}(t)+0} \cdot \frac{d\xi_{i+1}}{dt} + u \cdot \eta \Big|_{\xi_i(t)+0} \cdot \frac{d\xi_i}{dt} \tag{1.7}$$

Integrating (1.6) by parts and taking into account relations (1.1), (1.4), (1.5) and (1.7), we obtain that the solution of problem (1.2) - (1.5) satisfies the integral identity for any function $\eta \in H^1(0,1)$:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \int_0^1 b \cdot u \cdot \eta dx + \sum_{i=0}^M \int_{\xi_i}^{\xi_{i+1}} a_i \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \frac{d\eta}{dx} dx + \varphi_0(u(0,t),t) \cdot \eta(0) + \varphi_M(u(1,t),t) \cdot \eta(1) + \\ & \sum_{i=1}^M \eta(\xi_i(t)) \cdot (b_i \cdot u_i^r - b_{i-1} \cdot u_i^l - \gamma_i) \cdot \frac{d\xi_i}{dt} = 0 \end{aligned} \tag{1.8}$$

The formulation of the problem in the form of an identity makes it possible to reduce the requirements for the smoothness of the solution.

Introduce a discrete grid $0 = x_1 < \dots < x_N = 1$ on the segment $[0, 1]$. Find an approximate solution $u(x, t)$ at a fixed t in the space of piecewise linear and continuous inside each phase (with breaks at the grid nodes) functions depending on x , taking given values u_i^l, u_i^r to the left and right of the borders ξ_i [3].

Approximate the trial function space $H^1(0,1)$ with finite-dimensional space V_N functions continuous on $[0, 1]$ and linear in each of the intervals (x_i, x_{i+1}) . The set of functions $\{\eta_1, \dots, \eta_N\}$ from V_N , such that $\eta_k(x_j) = \delta_{kj}$, forms a basis in V_N .

Substitute $\eta = \eta_k$ into the integral identity (1.11) and perform an implicit difference approximation in time:

$$\begin{aligned} & \frac{I_k - \hat{I}_k}{\tau} + \sum_{i=0}^M \int_{\xi_i}^{\xi_{i+1}} a_i \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} dx + \varphi_0 \cdot \eta_k \Big|_{x=0} + \varphi_M \cdot \eta_k \Big|_{x=1} + \\ & + \sum_{i=1}^M \eta_k(\xi_i) \cdot (b_i \cdot u_i^r - b_{i-1} \cdot u_i^l - \gamma_i) \cdot \frac{\xi_i - \hat{\xi}_i}{\tau} \end{aligned} \tag{1.9}$$

Here τ is the time step of the time difference scheme $I_k = \int_0^1 b \cdot u \cdot \eta_k dx$
 And \hat{f} mean $f|_{t-\tau}$.

Obtain the FEM equations after calculating and summing the contributions of the finite elements in (1.9). Bearing in mind the solution of problems with narrow phases that often arise during diffusion, as well as problems with phase degeneracy, assume that there can be several interphase boundaries between neighboring grid nodes:

$$x_i \leq \xi_{n1} < \dots < \xi_{n1+m-1} < x_{i+1}$$

dividing (x_i, x_{i+1}) into intervals, in each of which the approximate solution is linear in x .

Introduce the notation $t = e, r = y$ for any function f .

The contributions of finite elements can be calculated according to the formulas:

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} b \cdot u \cdot \eta_k dx = N_1 \cdot u^i + N_2 \cdot u^{i+1} + F, \tag{1.10}$$

$$\sum_{j=0}^M \int_{y_j}^{y_{j+1}} a \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \cdot r_k dx = K_1 \cdot u^i + K_2 \cdot u^{i+1} + G,$$

where $r_k = \frac{d\eta_k}{dx}$ at (x_i, x_{i+1}) ,

$$N_1 = \frac{y_1 - y_0}{G} \cdot (2 \cdot \eta_k(y_0) + \eta_k(y_1)) \cdot b^i,$$

$$N_2 = \frac{-y_m + y_{m+1}}{G} \cdot (2 \cdot \eta_k(y_{m+1}) + \eta_k(y_m)) \cdot b^{i+1},$$

$$F = \frac{1}{G} \cdot \sum_{j=1}^M \left\{ u_j^+ \cdot b_j^+ \cdot (2 \cdot \eta_k(y_j) + \eta_k(y_{j+1})) \cdot (y_{j+1} - y_j) + u_j^- \cdot b_j^- \cdot (2 \cdot \eta_k(y_j) + \eta_k(y_{j-1})) \cdot (y_j - y_{j-1}) \right\},$$

$$K_1 = -r_k \cdot a^i, \quad K_2 = r_k \cdot a^{i+1}, \quad G = r_k \cdot \sum_{j=1}^M (a_j^- \cdot u_j^- - a_j^+ \cdot u_j^+).$$

The values of u_j^\pm are known from (1.3). The coefficients in the formulas (1.10) depend on the position of the boundaries, so the FEM equations obtained at each time layer can be written as:

$$A(\xi) \cdot u = B(\xi) \tag{1.11}$$

where $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_M)$, $u = (u^1, \dots, u^N)^T$.

In the case of quasilinear equations and nonlinear boundary conditions the elements of the tridiagonal matrix A and vector B also depend on u .

Note that for grid nodes, near which there are no interphase boundaries, in system (1.11) we obtain the usual FEM relations approximating (1.2).

Joint computation of values at grid nodes from (1.11) and determination of the position of boundaries ξ by integrating equations (1.5) at each time step is carried out as a result of an iterative process. Let us set a small number δ , $0 < \delta \ll 1$. Let $u^{(s)}$ and $\xi^{(s)}$ are known after the s -th iteration.

Denote by $\alpha_i = \min(\hat{\xi}, \xi_i^{(s)})$, $\beta_i = \max(\hat{\xi}, \xi_i^{(s)})$.

Choose the smallest segment $[x_{i1}, x_{i2}]$ with ends at grid nodes such that $[\alpha_i - \delta, \beta_i + \delta] \cap [0, 1] \subset [x_{i1}, x_{i2}]$. If $\xi_{i-1}^{(s)} \notin [x_{i1}, \xi_i^{(s)}]$, assume that $\bar{x}^l = x_{i1}$, $\bar{u}^l = u^{(s)i1}$, otherwise $\bar{x}^l = \xi_{i-1}^{(s)}$, $\bar{u}^l = u_{i-1}^r$,

Similarly, introduce the values \bar{x}^r, \bar{u}^r to the right of $\xi_i^{(s)}$. For all $i = 2, 3, \dots, M - 1$, and for $i = 1 (i = M)$, provided that $\alpha_1 > \delta (\beta_M < 1 - \delta)$, find the value of $\xi_i^{(s+1)}$ after solving the difference equation:

$$\gamma_i \cdot \frac{\bar{\xi} - \hat{\xi}_i}{\tau} = a_{i-1} \cdot \frac{\bar{u}^l - u_i^l}{\bar{x}^l - \bar{\xi}} - a_i \cdot \frac{\bar{u}^r - u_i^r}{\bar{x}^r - \bar{\xi}} \tag{1.12}$$

Approximating (2.5), and averaging:

$$\xi_i^{(s+1)} = \chi \cdot \bar{\xi} + (1 - \chi) \cdot \xi_i^{(s)} \tag{1.13}$$

where χ is the iteration averaging parameter.

Consider in more detail on the solution of equation (1.12). This equation is reduced to cubic with respect to $\bar{\xi}$:

$$\overline{(\bar{\xi} - \bar{x}^l) \cdot (\bar{\xi} - \hat{\xi}) \cdot (\bar{\xi} - \bar{x}^r)} = \tau \cdot (\rho \cdot \bar{\xi} + q) \tag{1.14}$$

It is convenient to find its roots using trigonometric formulas, without explicitly using the Cardano formula. For small τ the equation has three real roots, the middle of which tends to j at $\tau \rightarrow 0$. The equation has three real roots, the middle of which tends to τ equation (1.14) has three real roots, the average of which should serve as $\bar{\xi}$. In the case of one real root $\bar{\xi}$ define the point \bar{x}^l, \bar{x}^r , which is on the side of the root opposite to $\hat{\xi}_i$.

Then, at subsequent iterations, the segment $[\bar{x}^l, \bar{x}^r]$ will “expand” in the direction of the movement of the border $\xi_i(t)$.

When $\alpha_1 \leq \delta$ or $\beta_M \geq (1 - \delta)$, the flows $a \cdot \frac{\partial u}{\partial x}$ to the left of ξ_1 or to the right of ξ_M when approximating equations (1.5) are determined using the boundary conditions (1.4).

Let us describe the algorithm for switching to a new time layer.

When $s = 0$ the zero approximation $u^{(0)} = \hat{u}$, $\xi^{(0)} = \hat{\xi}$ is chosen. At the step $(s + 1)$ of iterations, construct a difference approximation of equations (1.5) first and then find the values of $\xi_i^{(s+1)}$ according to (1.13). If for some i , $1 \leq i \leq M + 1$, $\xi_{i-1}^{(s+1)} \geq \xi_i^{(s+1)}$, consider that one of the phases has resolved. In this case, one or two boundaries are discarded from consideration, and the remaining ones are renumbered. Then calculate $A(\xi^{(s+1)})$ and $B(\xi^{(s+1)})$ solve the system of equations (1.11) with respect to $u^{(s+1)}$.

After the convergence of the iterations, check the correspondence of the resulting values u^1 and the phases at the ends of the segment $[0, 1]$. If the match is violated, then a new boundary is established at the point $x = 0$ or $x = 1$.

To study the effectiveness of the described method, several problems of multiphase diffusion and thermal conductivity were solved. The most accurate one made it possible to calculate the movement of the boundary with good accuracy (about three correct digits) using 40 finite elements by x . The solution began when both phases existed. In the present work, a solution is obtained with a higher accuracy on only five elements. When carrying out the numerical results, technological indicators of a particular field were used with real data from the Embamunaigas Joint Stock Company of the Atyrau region of the Republic of Kazakhstan. The results obtained were tested with process data for analysis, control and predictive calculations of the Botakan oil field. The main mathematical model represents a complicated version of the Stefan-type problem in the case of non-isothermal filtration (taking into account the thermal conductivity of the medium), and Verigin-type problems in the case of isothermal filtration (with respect to the diffusion equation). In the one-dimensional case, the results of works [1-2] were used. Moreover, in the case of well systems, the graph method and the results of works were used [3-4].

Conclusion. As a summary, this paper presented a computational algorithm for solving free boundary problems with the objective of better understanding how for describing the processes of fluid filtration in the near-well zone of the formation. The results obtained correspond to the purpose of the study.

The research tasks have been solved. It was proved that the method universal and renders it possible to be referred to the class of shock-capturing methods. Using terms of thermal conductivity and diffusion, we investigated solving problems with an arbitrary and variable number of phases.

Practical significance of the study: this study is motivated by the need to obtain features that can help in choosing the correct mathematical models of fluid motion in porous media for predicting the development of oil fields in Western Kazakhstan.

Overall, our theoretical study suggests that mathematical modeling and computer modeling are important functions for predicting the development of oil fields.

Acknowledgement. The authors are grateful to the referee whose detailed comments greatly improve the presentation of the paper. This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP09260564 "High-performance computer simulation of multiphase fluid motion in a porous medium under conditions of uncertainty")

REFERENCES

- 1 Kaliev I. A., Mukhambetzhano S. T., Sabitova G. S.. Mathematical modeling of non-equilibrium sorption / Far East Journal of Mathematical Sciences. 2016.- V. 99,- No. 12 – p.1803–1810.
- 2 Kaliev I. A., Mukhambetzhano S. T., Sabitova G. S.. Numerical modeling of non-equilibrium sorption process / Ufa Mathematical Journal. 2016.- V. 8, - No. 2- p. 39–43.
- 3 Smagulov S. H., Mukhambetzhano S. T., Baymirov K. M.. Difference schemes for modeling two-dimensional Musket- Leverett equations on an irregular grid / Reports of the 3rd Kazakhstan-Russian scientific-practical conference. 2000.- V.3,- p. 43–48.
- 4 Zhumagulov B. T., Mukhambetzhano S. T., Shyganakov N. A.. Modeling oil displacement taking into account mass transfer processes / KazgosINTI. 2004.- V.2,- No.6– p.6-12.

С. Т. МУХАМБЕТЖАНОВ¹, А. А. МУСИНА², К. П. АМАН³

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қаласы
^{2,3}Ақтөбе өңірлік университеті, Қ. Жұбанов атындағы, Ақтөбе қаласы

ЕРКІН ШЕКАРАЛАРЫ БАР ЕСЕПТЕРДІ ШЕШУ ҮШІН ТИІМДІ ЕСЕПТЕУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚҰРУ

Мақалада Стефанның бір өлшемді есебін сандық шешудің тиімді әдісі ұсынылған. Еркін шекаралары бар есептерді шешудің есептеу алгоритмі жасалды. Бұл жылу өткізгіштікте де, диффузияда да кездейсоқ және өзгермелі фазалармен есептерді шешуге мүмкіндік береді. Шешім алгоритмі соңғы элементтер әдісін қолдануға негізделген. Есептеулер біртекті схема бойынша жүргізіледі. Бұл әдісті әмбебап етеді және оны санау әдістерінің класына жатқызуға мүмкіндік береді. Шекаралардың жағдайын мұқият бақылау фронттарды бөлу әдістерімен бірдей жүзеге асырылады, бұл мәселені осы типтегі әдістерге тән жоғары дәлдікпен шешуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: бос (белгісіз) шекаралар, ақырлы элементтер әдісі, Стефан есебі, жылу өткізгіштік теңдеуі, диффузия теңдеуі, жуықтау реті, санау схемасы, фронттарды нақты бөлу әдісі.

С. Т. МУХАМБЕТЖАНОВ¹, А. А. МУСИНА², К. П. АМАН³

¹Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы
^{2,3}Актюбинский региональный университет им.К.Жубанова, г.Актобе

ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СО СВОБОДНЫМИ ГРАНИЦАМИ

В работе предложен эффективный метод численного решения одномерной задачи Стефана. Разработан вычислительный алгоритм решения задач со свободными границами. Он позволяет решать задачи с произвольным и переменным числом фаз, как теплопроводности, так и в диффузии. Алгоритм решения основан на применении метода конечных элементов. Расчеты ведутся по однородной схеме. Это делает метод универсальным и позволяет отнести его к классу методов сквозного счета. Аккуратное слежение за положением границ осуществляется таким же образом, как и в методах с выделением фронтов, что делает возможным решение задачи с высокой точностью, характерной для методов этого типа.

Ключевые слова: свободные (неизвестные) границы, метод конечных элементов, задача Стефана, уравнение теплопроводности, уравнение диффузии, порядок аппроксимации, схема сквозного счета, метод с явным выделением фронтов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Абенов М. М. – к. ф.-м. н., КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
2. Абдрахманов Р. Б. – к.т.н., и.о. доцента, Международный университет туризма и гостеприимства, г. Туркестан, Казахстан
3. Абилханова Ж. Н. – магистр, старший преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
4. Ажибекова Ж. – к.п.н., Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан
5. Азанов Н. П. – к.ф.-м.н., доцент, и.о. профессора кафедры Информационных систем КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
6. Алпар С. Д. – Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
7. Алимбаев Ч. А. – Институт механики и машиноведения им. академика У. А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан
8. Алимжанова Ж. М. – к.ф.-м.н., старший преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
9. Амиргалиев Е. Н. – Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан
10. Амренов А. К. – PhDстудент, Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
11. Аман К. П. – Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан
12. Байманкулов А. Т. – профессор Костанайского регионального университета, г. Костанай, Казахстан
13. Бегимбаева Е. Е. – PhD, и.о. доцента кафедры «Информационная безопасность», Казахский национальный университет имени аль-Фараби; асс. проф. кафедры «Кибербезопасность, обработка и хранение информации» КазНИТУ имени К. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

-
14. Болат Н. А. – магистрант КазНУ имени аль Фараби, г. Алматы, Казахстан
 15. Ганжаев О. Ю. – магистрант Ургенчского государственного университета, г. Ургенч, Узбекистан
 16. Гриценко И. С. – Институт механики и машиноведения им. академика У. А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан
 17. Джолдасбаев С. К. – Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
 18. Дуйсебаева Г. К. – магистр математики, старший преподаватель кафедры «Прикладная математика и статистика», Таразский региональный университет им. М.Х Дулати, г. Тараз, Казахстан
 19. Евдокимов Д. Д. – студент кафедры «Компьютерная инженерия и информационная безопасность», Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
 20. Жакаш Ә. Т. – к.т.н., доцент кафедры «Прикладная математика и статистика», Таразский региональный университет им. М.Х Дулати, г. Тараз, Казахстан
 21. Жаксанова А. Н. – к.т.н., старший преподаватель, Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауезова, г. Шымкент, Казахстан
 22. Жексенов Д. Б. – студент кафедры «Компьютерная инженерия и информационная безопасность», Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
 23. Жиенбаев М. М. – преподаватель кафедры искусственного интеллекта и Big Data, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
 24. Жунусбаева С. Ж. – магистр, преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
 25. Зиятбекова Г. З. – PhD, и.о. доцента КазНУ имени аль-Фараби; СНС Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, г. Алматы, Казахстан

26. Исмаилов А. О. – доцент, ректор Костанайского инженерно-экономического университета, г. Костанай, Казахстан
27. Калжигитов Н. К. – студент кафедры «Компьютерная инженерия и информационная безопасность», Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
28. Канапия М. – Институт механики и машиноведения им. академика У. А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан
29. Керимкулов Д. – Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан
30. Крахмалева Ю. Р. – к.т.н., и.о.доцента кафедры «Прикладная математика и статистика», Таразский региональный университет им. М.Х Дулати, г. Тараз, Казахстан
31. Лахно В. – д.т.н., профессор кафедры компьютерных систем, сетей и кибербезопасности Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина
32. Ли А. С. – студент кафедры «Компьютерная инженерия и информационная безопасность», Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
33. Мамбетов С. Т. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
34. Макулов К. К. – к.т.н., профессор кафедры компьютерных наук, президент Yessenov University, г. Актау, Казахстан
35. Мансурова М. Е. – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой искусственного интеллекта и Big Data, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
36. Муханов С. Б. – магистр технических наук, сениор-лектор кафедры «Компьютерная инженерия», Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан

-
37. Муратова А. К. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
38. Мусина А. А. – Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан
39. Мухамбетжанов С. Т. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, г. Алматы, Казахстан
40. Нурушева А. М. – PhD, доцент, Евразийский университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
41. Омаров Б. С. – PhD, преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
42. Оспан А. Г. – старший преподаватель кафедры искусственного интеллекта и Big Data, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
43. Рысбайулы Б. – Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
44. Токтарова А. Б. – 3 курс докторант (8D01615-Информационная система), Международный казахско-турецкий университет им. Ходжа Ахмет Яссауи, г. Туркестан, Казахстан
45. Тулешов А. К. – Институт механики и машиноведения им. академика У. А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан
46. Тургамбаев Б. М. – магистрант КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
47. Хасанов М. М. – PhD старший преподаватель Ургенчского государственного университета, г. Ургенч, Узбекистан
48. Хикметов А. К. – Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан
49. Ягалиева Б. Е. – к.ф.-м.н., и.о. ассоциированного профессора кафедры компьютерных наук, декан факультета науки технологий, Yessenov University, г. Актау, Казахстан

СОДЕРЖАНИЕ

Бакытжан Турсынович Жумагулов (к 70-летию со дня рождения)	5
ИНФОРМАЦИОННЫЕ-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
<i>Ж. М. Алимжанова, Н. П. Азанов, Г. З. Зиятбекова, Ж. Н. Абилханова, С. Ж. Жунусбаева, Б. М. Тургамбай.</i> Разработка и исследование оценки надежности линейных беспроводных сенсорных сетей	9
<i>Е. Н. Амирғалиев, С. Б. Муқанов, Д. Б. Жексенов, Н. К. Калжигитов, А. С. Ли, Д. Д. Евдокимов, Ш. Кеншимов.</i> Сравнительный анализ нейросетевых моделей для методов распознавания жестов рук	16
<i>А. К. Амренов, А. М. Нурушева.</i> Обзор и анализ услуг службы реагирования на компьютерные инциденты	28
<i>М. М. Жиенбаев, А. Г. Оспан, М. Е. Мансурова.</i> ETL-процесс для водных ресурсов и демографических данных: инструменты обработки данных с открытым источником и визуализация	38
<i>Ю. Р. Крахмалева, А. Т. Жакаш, Г. К. Дуйсебаева.</i> Построение функции Ляпунова в системе компьютерной математики MAPLE	49
<i>С. Т. Мамбетов, Е. Е. Бегимбаева, А. К. Хикметов, С. К. Джолдасбаев.</i> Разработка алгоритма получения данных с тематических интернет-ресурсов	58
<i>Б. Рысбайулы, С. Д. Алнар.</i> Нелинейная обратная задача нахождения теплофизических характеристик	72
<i>А. К. Тулешов, И. С. Гриценко, Ч. А. Алимбаев, Д. Керимкулов, М. Канания.</i> Динамика мобильных роботов на основе принципа наименьшего приращения Гаусса с учетом случайных возмущающих сил	82
<i>А. Б. Токтарова, Б. С. Омаров, Ж. Ж. Ажибекова, А. Н. Жаксанова, Р. Б. Абдрахманов.</i> Автоматизированная классификация оскорбительных слов по «эмоциональным» комментариям пользователей сети	92
<i>Б. Е. Яғалиева, Б. Б. Ахметов, В. А. Лахно.</i> Адаптивная модель финансирования кибербезопасности при нечетких множествах угроз и ресурсов у стороны защиты	103
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА	
<i>М. М. Абенов, Н. А. Болат.</i> О точных решениях уравнения неразрывности	113
<i>А. Т. Байманкулов, М. М. Хасанов, А. О. Исмаилов, О. Ю. Ганжаев.</i> Обобщенный метод расширения для нагруженного волнового уравнения мелководья	118

<i>А. К. Муратова.</i> Асимптотические оценки решений краевой задачи для сингулярно возмущенных систем интегро-дифференциальных уравнений	126
<i>С. Т. Мухамбетжанов, А. А. Мусина, К. П. Аман.</i> Построение эффективных вычислительных алгоритмов для решения задач со свободными границами	135
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	142

CONTENTS

Bakytzhan Tursynovich Zhumagulov (to his 70 th anniversary)	5
---	---

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

<i>Y. N. Amirgaliyev, S. B. Mukhanov, D. B. Zhexenov, N. K. Kalzhigitov, A. S. Li, D. D. Yevdokimov, C. A. Kenshimov.</i> Comparative analysis of neural network models for hand gesture recognition methods	9
--	---

<i>Zh. M. Alimzhanova, N. P. Azanov, G. Z. Ziyatbekova, Zh. N. Abilkhanova, S. Zh. Zhunusbayeva, B. M. Turgambay.</i> Development and research of reliability assessment of linear wireless sensor networks	16
---	----

<i>A. Amrenov, A. M. Nurusheva.</i> Survey and analysis of computer emergency response team services	28
--	----

<i>M. M. Zhiyenbayev, A. G. Ospan, M. E. Mansurova.</i> ETL process for water resources and demographics data: an open source data processing tools and visualizations	38
--	----

<i>Y. R. Krakhmaleva, A. T. Zhakash, G. K. Duisebayeva.</i> Construction of the lyapunov function in the MAPLE computer mathematics system	49
--	----

<i>S. Mambetov, Ye. Begimbayeva, A. Khikmetov, S. Joldasbayev.</i> Development of an algorithm for obtaining data from thematic internet resources	58
--	----

<i>B. Rysbaiuly, S. D. Alpar.</i> Nonlinear inverse problem of finding thermophysical characteristics	72
---	----

<i>A. K. Tuleshov, I. S. Gritsenko, Ch. A. Alimbayev, D. Kerimkulov, M. Kanapia.</i> Dynamics of mobile robots based on the principle of least gauss coordination taking into account random disturbing forces	82
--	----

<i>A. B. Toktarova, B. S. Omarov, Zh. Zh. Azhibekova, A. N. Zhaxanova, R. B. Abdrakhmanov.</i> Automated offensive language classification through «emotional» comments from network users	92
--	----

<i>B. E. Yagaliyeva, B. B. Akhmetov, V. A. Lakhno.</i> Adaptive model of cyber security financing with fuzzy set of threats and resources at the side of protection	103
---	-----

APPLIED MATHEMATICS

<i>M. M. Abenov, N. A. Bolat.</i> On exact solutions of the equation of continuity	113
--	-----

<i>A. T. Baimankulov, M. M. Khasanov, A. O. Ismailov, O. Y. Ganjaev.</i> Generalized (G'/G) – expansion method for the loaded shallow water wave equation	118
---	-----

<i>A. K Muratova.</i> Asymptotic behavior of the solution of the boundary value problem for a singularly perturbed system of the integro-differential equations	126
<i>S. T. Mukhambetzhano, A. A. Mussina, K. P. Aman.</i> Construction of effective computational algorithms for solving free boundary problems	135
THE INFORMATION ABOUT AUTHORS	142

Редактор *М. Ахметова*
Верстка на компьютере *Е.В. Огурцовой*

Адрес редакции:
Национальная инженерная академия РК
050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80
Тел. 8(727)-2915290

Подписано в печать 20.06.2023 г.
Гарнитура Таймс. Формат 70x100 ¹/₁₆.
Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии ТОО «Luxe Media Publishing»