



Қазақстан Республикасы
Ұлттық инженерлік академиясының

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии
Республики Казахстан

№ 3 (81)

Алматы
2021

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Н. К. Надиров – 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. Вальдемар** (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 **Н. М. Темирбеков**, 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. K. Nadirov – 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. Kadyrzhhanov**, 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); **N. M. Temirbekov**, academician; **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 “Evrka 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



АКАДЕМИК НАДИРОВ – ГОРДОСТЬ НАУКИ

На 90-м году ушел из жизни выдающийся ученый, талантливый организатор науки, общественный деятель, прекрасный человек, академик **Нади́ров Нади́р Кари́мович**. Большинство казахстанцев знает это имя, хорошо известное в советской и мировой нефтегазовой науке и индустрии.

«Уважаемый Нади́р Кари́мович, Ваш жизненный путь демонстрирует те огромные возможности, которые открывает земля Казахстана, наша общая Родина для человека любой национальности, наделенного трудолюбием, талантом и знаниями», – подчеркивал, поздравляя нашего коллегу с очередным юбилеем, Первый Президент Республики Казахстан – Елбасы **Н.А. Назарбаев**.

Редко о ком из ученых при жизни говорят: «**Основатель, основоположник, первопроходец, единственный, первый, впервые...**», а наш коллега всецело соответствовал таким завидным определениям.

Нади́р Кари́мович Нади́ров – ученый-нефтехимик, нефтепереработчик, нефтяник – хорошо известен, им гордятся мировая и казахстанская нефтегазовая наука и индустрия.

Нади́р Кари́мович заложил основы нефтяной науки Казахстана. Он автор много-томной нефтегазовой энциклопедии – более 30 монографий, свыше 1400 научных публикаций, 10 учебных пособий. Был научным консультантом 12 докторских и научным руководителем свыше 50 кандидатских диссертаций по техническим, химическим, физико-математическим, биологическим, экономическим, педагогическим наукам.

Вместе с коллегами он стал автором шести научных открытий, имеет свыше 250 патентов и авторских свидетельств.

Знаменитые монографии ученого «**Нефть и газ Казахстана**» (в двух томах) и «**Высоковязкие нефти и природные битумы**» (в пяти томах), серии книг под рубриками «**Новые нефти Казахстана и их использование**» (8 книг) и «**Нефтебитуминозные породы**» (6 книг) стали настольными книгами специалистов отрасли во всем мире. Благодаря прозорливости Н.К. Нади́рова в Казахстане еще в 1980-е гг. впервые были начаты научно-производственные работы по добыче, транспортировке и пере-

работке нефтебитуминозных пород; мировое признание получили его научные труды, в том числе по комплексному исследованию углеводородов, высоковязких нефтей и природных битумов, радиационной переработке нефти и т.д.

Н.К. Надиров в 1976 г. был избран членом Научного совета по нефтехимии Академии наук СССР, а в 1982 г. – членом Научного совета по катализу Академии наук СССР и успешно представлял необъятную нефтяную науку в двух названных научных советах АН СССР. В 1991 г. ему было присвоено звание «Почетный нефтяник СССР». В 1983 г. за большой вклад в формирование и развитие науки, особенно нефтегазового комплекса Казахстана, Надир Каримович, единственный (до сих пор) из числа ученых-нефтехимиков, был избран действительным членом Академии наук Казахской ССР.

Чрезвычайно широка была организационная деятельность Н.К. Надирова: как проректора Казахского химико-технологического института по научной работе (г. Чимкент, 1968-1975 гг.), директора Института химии нефти и природных солей (г. Гурьев, ныне Атырау, 1975-1984 гг.), главного ученого секретаря Президиума и члена Президиума Академии наук Казахской ССР (г. Алма-Ата, 1977-1986 гг.), руководителя Казахстанского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института нефти (1987-1996 гг.). С 1997 г. он был бессменным первым вице-президентом Национальной инженерной академии РК и членом Совета президентов Международной инженерной академии, генеральным директором научно-инженерного центра «Нефть» НИА РК.

Уже не одно поколение коллег-нефтяников (от студентов до академиков) считают Надира Каримовича **«Отцом казахстанской нефтяной науки»**.

В 1991 г. Надир Каримович одним из первых вошел в число 26 учредителей Инженерной академии Казахстана, в стенах которой мы проработали вместе 30 лет. Я не раз говорил и писал о нем в прессе: это абсолютно надежный коллега, близкий друг, прирожденный лидер, победитель. Не только в научном мире, но и в широком социуме известны его профессиональная интуиция, разноплановые интересы, редкий дар первопроходца во многих направлениях.

Неоценимы личные качества Надира Каримовича – природная одаренность и честность, любознательность истинного ученого, тактичное внимания к каждому, кто рядом. Безграничное служение науке позволяло ему безошибочно выбирать и достигать поставленные цели, порой наперекор крайне несправедливым и суровым обстоятельствам.

Мощным и практически не имеющим аналогов вкладом в мировую науку и особенно в казахстанский нефтегазовый интеллектуальный потенциал стали **Международные научные Надировские чтения «Научно-технологическое развитие нефтегазового комплекса»**. Форумы уже 12 раз успешно прошли в ведущих университетах страны.

Академик Н.К. Надиров был хорошо известен и своей широчайшей эрудицией в сфере культуры общественной деятельностью. Был членом Ассамблеи народа Казахстана с момента ее создания, руководителем Ассоциации «Verbang» курдов РК в 1997-2003 гг. О своей насыщенной жизни Надир Каримович сам рассказал в двух публицистических монографиях: **«Мы, курды-казахстанцы»** (Алматы, 2003) и **«Раз-**

ница во времени, или Исторические повороты: экзамен на порядочность» (Алматы, 2008).

Все это – лишь малая часть биографии нашего выдающегося современника. Видный ученый с мировым именем, коллега, друг и наставник Надир Каримович Надиров навсегда останется в наших мыслях, делах и сердцах.

*Депутат Сената Парламента Республики Казахстан
Президент Национальной инженерной академии
Республики Казахстан, академик
Б.Т. Жумагулов*

UDC 519.6

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.101>

N. B. ALIMBEKOVA

*Amanzholov University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
nurlana1101@gmail.com*

NUMERICAL IMPLEMENTATION OF A NONLINEAR MODEL OF FLUID FLOW IN A HIGHLY FRACTURED MEDIUM BY THE FINITE ELEMENT METHOD

The paper presents the research results of the iterative method for solving the nonlinear problem of fluid flow in highly porous fractured formations, carried out within the framework of the grant project of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan No. AP08053189. It is assumed that the fluid flow process in the indicated medium is described by a nonlinear fractional differential equation of anomalous diffusion containing fractional order derivatives in the sense of Caputo-Fabrizio's definition. The first order approximation formula of the fractional derivative is obtained and its properties are investigated. A semi-discrete (with respect to time) and fully discrete finite element schemes of the second order with respect to the spatial variable and the first order with respect to time are constructed. An iterative Newton method is constructed for solving a fully discrete nonlinear equation that occurs at each time step after discretization. The convergence of the method is studied and sufficient conditions for the quadratic convergence of the Newton method are obtained. The results of the theoretical analysis are confirmed by the results of a number of computational experiments.

Keywords: *fluid flow in porous media, finite element method, fractional derivative in the sense of Caputo-Fabrizio, Newton's method, convergence, computational experiments.*

Introduction. For a long time, it was believed that the theory of Muskat-Leverett most fully describes the process of fluid flow in porous media. However, as shown in [1], this theory is not quite adequate in the case of fluid flow in fractured media. On the other hand, it is well known that fluid flow in natural media is usually nonlinear due to the high inhomogeneity of porous media. In such cases, the classical rheological Maxwell, Kelvin-Voigt, or Zener equations do not fully describe the process and require a transition to their fractional differential analogues [2]. In mathematical models of the fluid flow process, fractional order derivatives in the sense of Caputo [1], Riemann-Liouville [2], Caputo-Fabrizio [3], and others were used. The problems of fluid flows, where their dynamics are influenced by a fractured-porous medium and memory effects, are described by the fractional-order integro-differentiation theory in [2, 4]. In [2], several models were proposed to describe fluid flow processes in complex fractured-porous media containing fractional Riemann-Liouville derivatives in time and space. For single-phase flow, a nonlinear

pressure equation containing fractional Riemann-Liouville derivatives in time is obtained, a fractional-differential modification of Darcy's law is proposed, and a fractional-differential equation for anisotropic fluid flow is obtained. A fractional-differential modification of the Barenblatt–Gilman model for nonequilibrium two-phase countercurrent capillary impregnation is also proposed, taking into account the effects of power memory when the system relaxes to a local equilibrium state. The classical equations describing the motion of a fluid in a porous medium in [1, 5] were rewritten taking into account the memory formalism using the fractional derivative in the sense of Caputo. The main contribution of [5] is that for the two-phase flow of an incompressible and immiscible fluid in porous media, fractional derivatives of various orders in the Caputo sense with a variable lower limit in fractured and matrix regions were applied, and a two-level discrete time method was also introduced and developed. In [6], a nonlinear two-dimensional orthotropic fluid flow equation with a fractional Riemann–Liouville derivative in time is considered. In [3], the phenomenon of longitudinal dispersion in the flow of two miscible fluids through a porous medium is studied using the Caputo-Fabrizio fractional derivative.

It is known that the derivative considered in [1] has a degenerate singular kernel which makes it difficult to apply approximate methods for its solution. Later in 2015, a new derivative in the sense of Caputo-Fabrizio appeared which is devoid of these shortcomings. The latest features of the Caputo–Fabrizio fractional derivative operator provide more realistic models that help one better adjust the dynamic behavior of real phenomena, as discussed in [1, 3].

Due to the complexity of the application of analytical methods for obtaining solutions to fractional differential equations, the main method for solving such problems, especially nonlinear ones, remains numerical methods. There are many works devoted to the development and study of finite difference methods with various approaches of discretization of fractional derivatives [8, 9]. Other numerical, in particular, finite element [10, 11] and finite volume [12, 13] approaches are also being developed. Fully discrete nonlinear problems are usually solved by various methods. For example, the Newton's iterative method [14, 15], first-order linearization schemes [16], or the Jaeger-Kachur scheme [17].

The aim of this paper is to prove the applicability of the Newton's iterative method for solving a nonlinear differential equation of fluid flow in highly fractured media with a fractional derivative in the sense of Caputo–Fabrizio's definition. We propose a finite element method for implementing a one-dimensional nonlinear fluid flow model in fractured media. Semi-discrete and fully discrete schemes of the second order with respect to the spatial variable and the first order with respect to time are constructed. The Newton's iterative process for solving nonlinear systems of algebraic equations arising when implementing a fully discrete scheme at each time step is constructed. The convergence of the method is analyzed and sufficient conditions for its quadratic convergence are obtained.

Model of fluid flow in a fractured porous medium. In the classical theory of fluid flow in porous media, the continuity equation under the assumption of a single-phase flow of an isothermal fluid in a homogeneous porous medium has the form

$$\partial_t(\phi\rho) + \nabla \cdot (\rho\vec{u}) = f, \quad (1)$$

where ϕ is the porosity of the medium, ρ is the fluid density, \vec{u} is the velocity vector, f is density of mass sources. One approach to modeling fluid flow in a fractured porous medium is to replace the specified medium with some model homogeneous porous medium with power-law memory. Due to the fact that porosity depends on the pressure of the fluid and on the stress-strain state of the medium, which exhibits viscoelastic properties, it can be concluded that porosity is a function not only of pressure, but also of its fractional derivative or fractional integral [2]:

$$\phi = \phi(p, \partial_{0,t}^\alpha p), \quad \alpha \in (-1, 1), \tag{2}$$

where the operators of fractional differentiation and integration in the sense of the Caputo-Fabrizio's definition [18, 19] are defined as:

$$\partial_{0,t}^\nu u(t) = \frac{M(\nu)}{n-\nu} \int_0^t u^{(n)}(\tau) \exp\left(-\frac{\nu-n+1}{n-\nu}(t-\tau)\right) d\tau, \quad n-1 < \nu < n, \quad n \in N,$$

$$I_{0,t}^\nu u(t) = \frac{2(1-\nu)}{M(\nu)(2-\nu)} u(t) + \nu \int_0^t u(\tau) d\tau, \quad 0 < \nu < 1, \quad n \in N,$$

where $M = M(r)$ is a function such that $M(0) = M(1) = 0$. In addition, the following fractional-differential generalization of the classical state equation is proposed in [20]:

$$\rho = \rho(p, \partial_{0,t}^\beta p), \quad \beta \in (-1, 1). \tag{3}$$

To account for the effect of fractures on the fluid flow process, several generalizations of linear Darcy's law are known. For example, in [1], the motion law is generalized under the assumption that the permeability decreases with time, and therefore the influence of fluid pressure on the flow in a porous medium at the boundary slows down, and the flow occurs as if the medium had a memory. On the other hand, a fractional Darcy law with spatial memory based on the Riemann-Liouville fractional derivative is proposed in [7]. In this paper, the subdiffusion law of motion is chosen as follows:

$$\vec{U} = -\Phi(\partial_{0,t}^\gamma(\nabla p)) \frac{\nabla p}{|\nabla p|}, \quad \gamma \in (0, 1), \tag{4}$$

which can be used to describe fluid flow in natural fractured-porous media, in which the fractures are distributed on average evenly over the volume [2], where $\Phi(z)$ is a given function. Substituting (2)-(4) into (1), we obtain the following nonlinear fractional differential equation for the flow of a viscoelastic fluid in a fractured-porous medium under the assumption of a small pressure gradient:

$$\phi(c_{f1} + c_{\phi 1}) \partial_t p + \phi c_{\phi \alpha} \partial_{0,t}^{\alpha+1} p + \phi c_{f\beta} \partial_{0,t}^{\beta+1} p - \nabla \cdot \left(\frac{\Phi(\partial_{0,t}^\gamma(\nabla p))}{|\nabla p|} \nabla p \right) = f_0, \tag{5}$$

where $f_0 = \frac{f}{\rho}$; $c_{f1} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial p}$, $c_{\phi 1} = \frac{1}{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial p}$ are classical isothermal compressibility of a fluid and a porous medium, and $c_{f\beta} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial (\partial_{0,t}^\beta p)}$, $c_{\phi\alpha} = \frac{1}{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial (\partial_{0,t}^\alpha p)}$ are their generalized fractional-differential isothermal counterparts [2].

Let us study the special one-dimensional case of the model (1)-(4) in more detail. In $Q_T = \bar{\Omega} \times [0, T]$, where $\Omega = (0, 1)$, consider the initial boundary value problem

$$\partial_t p + \bar{c}_{\phi\alpha} \partial_{0,t}^{\alpha+1} p + \bar{c}_{f\beta} \partial_{0,t}^{\beta+1} p - \bar{k} \left(\Phi \left(\partial_{0,t}^\gamma (p_x) \right) \right)_x = \bar{f}_0, \quad t > 0, \quad x \in \Omega, \tag{6}$$

$$p(x, 0) = p_0(x), \quad x \in \bar{\Omega}, \tag{7}$$

$$p(0, t) = p(1, t) = 0, \quad t > 0. \tag{8}$$

First, we define a variational formulation of the problem (6)-(8).

Problem 1. Find $p \in H^1(0, T; H_0^1(\Omega))$, such that for any $v \in H_0^1(\Omega)$:

$$(\partial_t p, v) + \bar{c}_{\phi\alpha} (\partial_{0,t}^{\alpha+1} p, v) + \bar{c}_{f\beta} (\partial_{0,t}^{\beta+1} p, v) + \bar{k} \left(\Phi \left(\partial_{0,t}^\gamma (p_x) \right), v_x \right) = (\bar{f}_0, v), \tag{9}$$

$$p(x, 0) = p_0(x), \tag{10}$$

where $\alpha \in (-1, 0)$, $\beta \in (-1, 0)$, $\gamma \in (1, 0)$.

Throughout the paper, we use the following assumptions:

(A1) The problem (6)-(8) has a unique solution that has the number of derivatives required to perform the analysis.

(A2) The function $\Phi: R \rightarrow R$ is a differentiable real-valued function defined on Ω , such that

$$\Phi'(z) \geq c_f > 0, \quad z \in R, \tag{11}$$

$$|\Phi(z_1) - \Phi(z_2)| \leq L_f |z_1 - z_2|, \quad L_f > 0, \quad z_1, z_2 \in R. \tag{12}$$

(A3) The initial condition p^0 is bounded and positive.

Semi-discrete and fully discrete formulations of the problem. Introduce a partition of the time interval $[0, T]$ by the points $t_n = n\tau$, $n = 0, 1, \dots, N_p$, $N_p \tau = T$. To determine the semi-discrete formulation of (6), (7), we derive the approximation formula of the fractional derivative in the sense of Caputo-Fabrizio's definition.

Lemma 1. The discrete analog of the Caputo-Fabrizio fractional derivative of order ν can be represented as:

$$\partial_{0,t}^\nu p(t_n) = \Delta_{0,t}^\nu p(t_n) + r_n^\nu, \quad 0 < \nu < 1, \tag{13}$$

$$\Delta_{0,t}^v p(t_n) = \sum_{s=1}^n \delta_{n,s}^v (p^s - p^{s-1}), \tag{14}$$

where p^s denotes a finite-dimensional approximation of the function p at point $t = t_s$,

$$\delta_{n,s}^v = \frac{\exp(\sigma_v \tau) - 1}{\tau v} \exp(-(n-s+1)\sigma_v \tau), \quad \sigma_v = \frac{v}{1-v}, \quad |r_n^v| \leq \frac{\exp(-\sigma_v t_n)}{3v} \max_{0 \leq t \leq t_n} |p''(t)| \tau.$$

Define a semi-discrete formulation of the problem (6)-(7):

Problem 2. Let the value of $p^{n-1} \in H_0^1(\Omega)$ be known. Find $p^n \in H_0^1(\Omega)$ such that for all $v \in H_0^1(\Omega)$:

$$\left(\frac{p^n - p^{n-1}}{\tau}, v \right) + \bar{c}_{\phi\alpha} (\Delta_{0,t}^{\alpha+1} p^n, v) + \bar{c}_{f\beta} (\Delta_{0,t}^{\beta+1} p^n, v) + (\Phi(\Delta_{0,t}^\gamma p_x^n), v_x) = (\bar{f}_0, v), \tag{15}$$

$$p^0 = p_0(x), \tag{16}$$

where $\alpha \in (-1,0)$, $\beta \in (-1,0)$, $\gamma \in (1,0)$.

To formulate a fully discrete problem, we define a discrete space $V_h \subset H_0^1$:

$$V_h = \left\{ v_h \in H_0^1(\Omega) \cap C^0(\bar{\Omega}) \mid v_h|_e \in P_1(e), \quad \forall e \in K_h \right\},$$

where K_h is the quasi-uniform triangulation of Ω . Let Π_h be the L^2 – projection operator, such that $(\Pi_h p - p, p_h) = 0, \forall p \in L^2(\Omega), p_h \in W_h$.

Problem 3. Find $P_h^n \in V_h, n = 1, 2, \dots, N_p$ satisfying

$$\left(\frac{P_h^n - P_h^{n-1}}{\tau}, v_h \right) + \bar{c}_{\phi\alpha} (\Delta_{0,t}^{\alpha+1} P_h^n, v_h) + \bar{c}_{f\beta} (\Delta_{0,t}^{\beta+1} P_h^n, v_h) + (\Phi(\Delta_{0,t}^\gamma P_{h,x}^n), v_{h,x}) = (\bar{f}_0, v_h), \tag{17}$$

$$P_h^0 = \Pi_h p_0, \tag{18}$$

for any $v_h \in V_h$ where $\alpha \in (-1,0)$, $\beta \in (-1,0)$, $\gamma \in (1,0)$.

Previously, the authors proved the following theorems in the special case $\Phi(\varphi) = \mu\varphi(x, t) + \psi(x, t)$.

Theorem 1. Under the conditions (A1)-(A3), the following inequality holds:

$$\|p(t_n) - P_h^n\|_0 + \tau \sqrt{\frac{2c_0}{T}} \|p(t_n) - P_h^n\|_1 \leq C\tau,$$

where $c_0 = \min \{ \bar{c}_{\phi\alpha} \delta_{n,1}^{\alpha+1}, \bar{c}_{f\beta} \delta_{n,1}^{\beta+1}, \mu \delta_{n,1}^\gamma \}$.

Theorem 2. Let $p \in C^1([0, T], H_0^1(\Omega) \cap H^2(\Omega))$, $P_h^n \in V_h$ and $P_h^0 = \Pi_h p_0$. Then there exists $\tau_0 > 0$ such that for all $\tau \leq \tau_0$, the following inequality holds:

$$\|p(t_n) - P_h^n\|_0 + 2\tau \sqrt{\frac{c_0}{T}} \|p(t_n) - P_h^n\|_1 \leq C(\tau + h^2),$$

where $c_0 = \min \{ \bar{c}_{\phi\alpha} \delta_{n,1}^{\alpha+1}, \bar{c}_{f\beta} \delta_{n,1}^{\beta+1}, \mu \delta_{n,1}^\gamma \}$.

For the more general case of Φ considered in the paper, the method converges only with the first order in the spatial variable with an additional restriction on the diameter of the triangulation.

Implementation of the Newton's method. In this section, we present a Newton's method for solving the nonlinear problem (6)-(8). Rewrite (15), using (14):

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} (p^n - p^{n-1}, v) + \tau \bar{k} \left(\Phi \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^n + H_n^{\alpha,\beta} \right), v_x \right) = (F_n, v), \quad (19)$$

where

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} = 1 + \tau \delta_{n,n}^{\alpha+1} \bar{c}_{\phi\alpha} + \tau \delta_{n,n}^{\beta+1} \bar{c}_{f\beta}, \quad H_n^{\alpha,\beta} = -\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n-1} + \sum_{s=1}^{n-1} \delta_{n,s}^\gamma (p_x^s - p_x^{s-1}),$$

$$F_n = -\tau \bar{c}_{\phi\alpha} \sum_{s=1}^{n-1} \delta_{n,s}^{\alpha+1} (p^s - p^{s-1}) - \tau \bar{c}_{f\beta} \sum_{s=1}^{n-1} \delta_{n,s}^{\beta+1} (p^s - p^{s-1}) + \tau \bar{f}_0.$$

Denote the i -th iteration by $p^{n,i}$ and, limiting ourselves to the first two terms in the Taylor expansion of Φ , we obtain

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} (p^{n,i} - p^{n-1}, v) + \tau \bar{k} \left(\Phi \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right) + \delta_{n,n}^\gamma (p_x^{n,i} - p_x^{n,i-1}) \Phi' \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right), v_x \right) = (F_n, v). \quad (20)$$

Lemma 2 [14]. Let $f : R \rightarrow R$ be a differentiable function, and $f'(\cdot)$ be Lipschitz continuous. Then

$$\|f(x) - f(y) - f'(y)(x - y)\|_0 \leq \frac{L_{f'}}{2} \|x - y\|_0^2, \quad \forall x, y \in R,$$

where $L_{f'}$ is the Lipschitz constant.

Theorem 3. Under the conditions (A1)-(A3), the following inequality holds:

$$\|p^n - p^{n,i}\|_0^2 + \tau \|p_x^n - p_x^{n,i}\|_0^2 \leq \frac{C\tau}{h^5} \|p^n - p^{n,i-1}\|_0^4.$$

Proof. Subtracting (20) from (19), we obtain the following identity:

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} (p^n - p^{n,i}, v) + \tau \bar{k} \left(\Phi \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^n + H_n^{\alpha,\beta} \right) - \Phi \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right) - \delta_{n,n}^\gamma (p_x^n - p_x^{n,i-1}) \Phi' \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right), v_x \right) + \tau \bar{k} \left(\delta_{n,n}^\gamma (p_x^n - p_x^{n,i}) \Phi' \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right), v_x \right) = 0.$$

Denote $e^{n,i} = p^n - p^{n,i}$ and choose $v = e^{n,i}$:

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} (e^{n,i}, e^{n,i}) + \tau \bar{k} \left(\Phi \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^n + H_n^{\alpha,\beta} \right) - \Phi \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right) - \delta_{n,n}^\gamma e_x^{n,i-1} \Phi' \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right), e_x^{n,i} \right) + \tau \bar{k} \left(\delta_{n,n}^\gamma e_x^{n,i} \Phi' \left(\delta_{n,n}^\gamma p_x^{n,i-1} + H_n^{\alpha,\beta} \right), e_x^{n,i} \right) = 0.$$

Using assumption (A2) and Lemma 2, we obtain

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} \|e^{n,i}\|_0^2 + \tau \bar{c}_0 \delta_{n,n}^\gamma \|e_x^{n,i}\|_0^2 \leq \tau \delta_{n,n}^\gamma \bar{k} \int_\Omega \frac{L_{f'}}{2} |e_x^{n,i-1}|^2 |e_x^{n,i}| dx \leq \frac{\tau}{8c_0} \delta_{n,n}^\gamma \bar{k} (L_{f'})^2 \|e_x^{n,i-1}\|_{L^4(\Omega)}^4 + \frac{c_0}{2} \tau \delta_{n,n}^\gamma \bar{k} \|e_x^{n,i}\|_0^2,$$

which yields

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} \|e^{n,i}\|_0^2 + \frac{c_0 \tau}{2} \bar{k} \delta_{n,n}^\gamma \|e_x^{n,i}\|_0^2 \leq \frac{\tau}{8c_0} \delta_{n,n}^\gamma \bar{k} (L_{f'})^2 \|e_x^{n,i-1}\|_{L^4(\Omega)}^4.$$

Using the inverse inequalities $\|v\|_{L^4(\Omega)} \leq Ch^{\frac{d}{4}} \|v\|_{L^2(\Omega)}$ and $\|v_x\|_0 \leq Ch^{-1} \|v\|_0$, we obtain

$$C_{n,\tau}^{\alpha,\beta} \|e^{n,i}\|_0^2 + \frac{c_0 \tau}{2} \bar{k} \delta_{n,n}^\gamma \|e_x^{n,i}\|_0^2 \leq \frac{C\tau}{h} \|e_x^{n,i-1}\|_0^4$$

which concludes the theorem.

It follows from the theorem that if a sufficient condition is satisfied $\frac{C\tau}{h^5} \|p^n - p^{n,i-1}\|_0^2 \leq 1$ the quadratic convergence of the Newton's method is achieved.

Computational experiments. To check the accuracy of the scheme (20), a number of computational experiments were carried out on the example of two model problems.

Example 1. Consider the equation

$$\partial_t p + \partial_{0,t}^{\alpha+1} p + \partial_{0,t}^{\beta+1} p - \left(\arctan(\partial_{0,t}^\gamma (p_x)) \right)_x = f_0, \quad t > 0, \tag{21}$$

$$f_0(x,t) = x(x-1) \left[\frac{\exp((\alpha+1)t/\alpha) - \exp(t/2)}{\alpha+2} + \frac{\exp((\beta+1)t/\beta) - \exp(t/2)}{\beta+2} - \frac{\exp(t/2)}{2} \right] - \frac{2(\gamma+1)(\exp(t\gamma/(\gamma-1)) - \exp(t/2))}{(\exp(t) - 2\exp(t\gamma/(\gamma-1) + t/2) + \exp(2t\gamma/(\gamma-1)))(4x^2 - 4x + 1) + \gamma^2 + 2\gamma + 1}$$

with the initial and boundary conditions

$$p(x,0) = x(1-x), \quad x \in \bar{\Omega}, \quad p(0,t) = p(1,t) = 0, \quad t > 0, \tag{22}$$

where $\alpha \in (-1,0)$, $\beta \in (-1,0)$, $\gamma \in (1,0)$. The exact solution of the problem is $p(x,t) = x(1-x)\exp(t/2)$.

Example 2. Consider the equation

$$\partial_t p + \partial_{0,t}^{\alpha+1} p + \partial_{0,t}^{\beta+1} p - \left(\arctan(\partial_{0,t}^\gamma (p_x)) \right)_x = f_0, \quad t > 0, \tag{23}$$

where $f_0(x,t) = \sin(\pi x)\exp(2-t) \left[\frac{\exp((\alpha+1)t/\alpha+t) - 1}{2\alpha+1} + \frac{\exp((\beta+1)t/\beta) - 1}{2\beta+1} - 1 \right] +$

$$+ \frac{\pi^2 (2\gamma-1)\sin(\pi x)\exp(2+t)(\exp(t\gamma/(\gamma-1)+t) - 1)}{\pi^2 \cos(\pi x)^2 (\exp(2t\gamma/(\gamma-1) + 2t + 4) - 2\exp(t\gamma/(\gamma-1) + t + 4) + \exp(4)) + \exp(2-t)(4\gamma^2 - 4\gamma + 1)}$$

with the initial and boundary conditions

$$p(x,0) = \sin(\pi x), \quad x \in \overline{\Omega}, \quad p(0,t) = p(1,t) = 0, \quad t > 0, \quad (24)$$

where $\alpha \in (-1,0)$, $\beta \in (-1,0)$, $\gamma \in (1,0)$. The exact solution of the problem is $p(x,t) = \sin(\pi x)\exp(2-t)$.

In tables 1 and 2 errors values for different values of the parameters $\alpha = -0.5$, $\beta = -0.5$, $\gamma = 0.5$ are shown.

Table 1 – Convergence of the Newton method for the Example 1, with $\alpha = -0.5$, $\beta = -0.5$, $\gamma = 0.5$, $h = 0.05$, $\tau = 0.025$.

$t = 0.025$	$t = 0.05$	$t = 0.125$	$t = 0.5$	$t = 1$
$2.5824682 \cdot 10^{-1}$	$1.6148931 \cdot 10^{-1}$	$3.4512562 \cdot 10^{-2}$	$1.3654528 \cdot 10^{-3}$	$9.0365485 \cdot 10^{-4}$
$2.5559525 \cdot 10^{-3}$	$1.3654821 \cdot 10^{-3}$	$2.9604762 \cdot 10^{-4}$	$6.6548218 \cdot 10^{-6}$	$9.6542582 \cdot 10^{-6}$
$1.5852454 \cdot 10^{-7}$	$9.1236548 \cdot 10^{-8}$	$9.6548924 \cdot 10^{-9}$	$5.5852454 \cdot 10^{-11}$	$6.9655420 \cdot 10^{-10}$
$7.2354156 \cdot 10^{-11}$	-	-	-	-

Table 2 – Convergence of the Newton method for the Example 2, with $\alpha = -0.5$, $\beta = -0.5$, $\gamma = 0.5$, $h = 0.05$, $\tau = 0.025$.

$t = 0.025$	$t = 0.05$	$t = 0.125$	$t = 0.5$	$t = 1$
$2.6352452 \cdot 10^{-1}$	$1.6525215 \cdot 10^{-1}$	$2.3256012 \cdot 10^{-2}$	$1.22565215 \cdot 10^{-3}$	$1.3295214 \cdot 10^{-3}$
$1.96532541 \cdot 10^{-3}$	$1.6521562 \cdot 10^{-3}$	$1.0215921 \cdot 10^{-4}$	$1.2159852 \cdot 10^{-5}$	$1.5625921 \cdot 10^{-5}$
$5.3562548 \cdot 10^{-8}$	$4.3832568 \cdot 10^{-8}$	$4.3255489 \cdot 10^{-9}$	$9.3265802 \cdot 10^{-10}$	$5.6254862 \cdot 10^{-10}$

Conclusions. Thus, a finite element scheme is constructed for the nonlinear fractional-differential equation of anomalous diffusion, which describes the fluid flow process in highly porous fractured formations, containing a fractional derivative in the sense of Caputo-Fabrizio. An approximation formula of the first order of the fractional derivative is obtained and its properties are investigated. The order of convergence depends only on the sampling parameters. At each time step, the resulting nonlinear algebraic systems are solved by Newton's method. In addition, a sufficient condition for the quadratic convergence of the Newton scheme is obtained. To confirm the theoretical results, two numerical examples were presented. The empirical convergence agrees well with the theoretical estimates. Based on the theoretical results and numerical experiments, we conclude that the presented numerical scheme is effective and can be used for effective modeling of fluid flow problems in highly porous fractured formations.

The work was supported by grant funding of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, grant No. AP08053189, 2020-2022.

REFERENCES

1 Caputo M. Models of flux in porous media with memory / Water Resources Research. 2000. – V. 36, No. 3. – p. 693–705.

2 Gazizov R. K., Lukashchuk S. YU. Drobnodifferencial'nyj podhod k modelirovaniyu processov fil'tracii v slozhnyh neodnorodnyh poristyh sredah / Vestnik UGATU. 2017. – V. 21, No. 4. – p. 104–112.

3 Agarwal R., Yadav M. P., Baleanu D., Purohit S. D. Existence and uniqueness of miscible flow equation through porous media with a nonsingular fractional derivative / AIMS Mathematics. 2020. – V. 5, No. 2. – p. 1062–1073.

4 Di Giuseppe E., Moroni M., Caputo M. Flux in porous media with memory: models and experiments / Transport in Porous Media. 2010. – V. 83, No. 3. – p. 479–500.

5 Zhong W., Li C., Kou J. Numerical Fractional Calculus Model for Two-phase Flow in fractured media / Advances in Mathematical Physics. 2013. – V. 2013, No. 429835. – p. 1–7.

6 Lukashchuk V.O., Lukashchuk S.YU. Gruppovaya klassifikaciya, invariantnye resheniya i zakony sohraneniya ne linejnogo dvumernogo ortotropnogo uravneniya fil'tracii s drobnnoj proizvodnoj Rimana–Liuvillya po vremeni / Vestn. Sam. gos. tekhn. unta. Ser. Fiz.mat. nauki. 2020. – V. 24, No.2. – p. 226–248.

7 He J. H. Approximate analytical solution for seepage flow with fractional derivatives in porous media. / Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1998.– V. 167, No. 1. – p. 57–88.

8 Zhuang P., Liu F. Finite difference approximation for two-dimensional time fractional diffusion equation / Journal of Algorithms and Computational Technology. 2007.– V. 1, No. 1. – p. 1–15.

9 Alimbekova N.B., Baigereyev D.R., Madiyarov M.N. Study of a Numerical Method for Solving a Boundary Value Problem for a Differential Equation with a Fractional Time Derivative // Izvestiya of Altai State University. 2020.– V. 114, No. 4. – p. 64–69.

10 Jin B., Lazarov Y., Liu Y., Zhou Z. The Galerkin finite element method for a multiterm time-fractional diffusion equation / Journal of Computational Physics. – 2015. – Vol. 281. – p. 825–843.

11 Li C., Zeng F. Numerical methods for fractional calculus. – CRC Press, 2015. – p. 300.

12 Jia J., Wang H. A fast finite volume method for conservative spacefractional diffusion equations in convex domains / Journal of Computational Physics. – 2016. – V. 310. – p. 63–84.

13 Liu F., Zhuang P., Turner I. et al. A new fractional finite volume method for solving the fractional diffusion equation / Applied Mathematical Modelling. 2013. – V. 38.– P. 3871–3878.

14 Radu F. A., Pop I. S. Simulation of reactive contaminant transport with nonequilibrium sorption by mixed finite elements and Newton method / Computational Geosciences. 2011.– V. 15, No. 3. – p. 431–450.

15 Radu F. A., Pop I. S. Newton method for reactive solute transport with equilibrium sorption in porous media / Newton method for reactive solute transport with equilibrium sorption in porous media. 2010. – V. 234. – p. 2118–2127.

16 Slodicka M. Approximation of a nonlinear degenerate parabolic equation via a linear relaxation scheme / Numer. Methods Partial Differential Equations. 2005. – V. 2005, No. 21. – p. 191–212.

17 Jäger W., Kačur J. Solution of doubly nonlinear and degenerate parabolic problems by relaxation schemes / Mathematical Modelling, and Numerical Analysis. 1995. – V. 29, No. 5.– p. 605–627.

18 Caputo M., Fabrizio M. A New Definition of Fractional Derivative without Singular Kernel // Progress in Fractional Differentiation and Applications. 2015. – V. 2. – p. 73–85.

19 Kirane M., Torebek T. A Lyapunov type inequality for a fractional boundary value problem with Caputo-Fabrizio derivative / Journal of Mathematical Inequalities. 2018.– V. 12, No. 4. – p. 1005–1012.

20 Prieur F., Holm S. Nonlinear acoustic wave equations with fractional loss operators / Journal of the Acoustic Society of America. 2011.–V. 130, No. 3. – p. 1125–1132.

Н. Б. АЛИМБЕКОВА

*Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
Өскемен, Қазақстан*

**ЖОҒАРЫ ЖАРЫҚШАЛЫ ОРТАДА СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ФИЛЬТРАЦИЯ
МОДЕЛІН АҚЫРЛЫ ЭЛЕМЕНТТЕР ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ**

Мақалада ҚР БжҒМ гранттық қаржыландырылған АР08053189 жобасы аясында жүргізілген кеуектілігі жоғары жарықшалы қабаттардағы сызықты емес фильтрация есебін шешудің итерациялық әдісін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Жұмыста көрсетілген ортадағы фильтрация үрдісі Капуто-Фабрицио магынасындағы бөлік ретті туындылары бар аномальды диффузияның сызықты емес бөлік-дифференциалдық теңдеуімен сипатталады деп болжанады. Бөлік туындының бірінші ретті жуықтау формуласы алынды және оның қасиеттері зерттелді. Уақытқа қатысты жартылай дискретті және кеңістіктік айнымалы бойынша екінші ретті және уақыт бойынша бірінші ретті толығымен дискретті ақырлы-элементтік сұлба құрылды. Дискреттеуден кейін әр уақыт қадамында пайда болатын толық дискретті сызықты емес теңдеуді шешу үшін Ньютонның итерациялық әдісі құрылды. Жинақтылық мәселесі зерттелді және Ньютон әдісінің квадраттық жинақтылығының жеткілікті шарттары келтірілді. Теориялық талдау нәтижелері бірқатар есептеу эксперименттерінің нәтижелерімен расталады.

Түйін сөздер: кеуекті ортадағы сұйықтықтың ағыны, ақырлы элементтер әдісі, Капуто-Фабрицио магынасындағы бөлік туынды, Ньютон әдісі, жинақтылық, есептеу эксперименттері.

Н. Б. АЛИМБЕКОВА

*Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,
Усть-Каменогорск, Казахстан*

**ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ В
СИЛЬНО ТРЕЩИНОВАТОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Представлены результаты исследования итерационного метода решения нелинейной задачи фильтрации в сильнопористых трещиноватых пластах, проводимого в рамках грантового проекта МОН РК АР08053189. В работе предполагается, что процесс фильтрации в указанной среде описывается нелинейным дробно-дифференциальным уравнением аномальной диффузии, содержащим производные дробного порядка в смысле Капуто-Фабрицио. Получена аппроксимационная формула первого порядка дробной производной и исследованы ее свойства. Построены полудискретная относительно времени и полностью дискретная конечно-элементные схемы второго порядка по пространственной переменной и первого порядка по времени. Построен итерационный метод Ньютона для решения полностью дискретного нелинейного уравнения, возникающего на каждом временном шаге после дискретизации. Исследован вопрос о сходимости и приведены достаточные условия квадратичной сходимости метода Ньютона. Результаты теоретического анализа подтверждаются результатами ряда вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: течение жидкости в пористых средах, метод конечных элементов, дробная производная в смысле Капуто-Фабрицио, метод Ньютона, сходимость, вычислительные эксперименты.

Д. Б. ЖАКЕБАЕВ, Д. С. АГАДАЕВА*, О. Л. КАРУНА

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,

Алматы, Казахстан

e-mail: agadaeva.dilyara@gmail.com

МЕТОД LBM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА ЖИДКОСТИ

В данной статье рассматривается численное решение задачи неустойчивости Рэлея-Тэйлора, возникающей под действием силы тяжести для трехкомпонентного потока жидкости при учете сил поверхностного натяжения. Исследуемый процесс рассматривается в ограниченной области, имеющей форму прямоугольника. Плотность компонентов жидкости такова, что: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$. Математическая модель, построенная для описания указанного процесса для трехкомпонентной жидкости, основывается на уравнении Навье-Стокса для несжимаемой жидкости и уравнении Кана-Хиллиарда. Численная модель строится на базе LBM (LBM – Lattice Boltzmann method) с использованием модели D2Q9. Это новый подход к моделированию задач описания движения трехкомпонентной жидкости, позволяющий установить распределение скорости и фазовых компонентов. Полученные результаты определяют адекватность построенной модели для трехкомпонентной жидкости.

Ключевые слова: *трехкомпонентная жидкость, фазовый переход, метод фазового поля, метод решеточного уравнения Больцмана, уравнение Кана-Хиллиарда, неустойчивость Рэлея-Тэйлора.*

Введение. Исследование движения многокомпонентных тепловых потоков необходимо, прежде всего, потому что они часто встречаются в природе, а также имеют место в промышленных и производственных процессах, что требует детального изучения ряда инженерных задач. В качестве примера применения численного моделирования многокомпонентных потоков жидкости можно отметить добычу нефти и газа, химическую переработку сырья, к ним также относятся потоки пароводяной смеси в котлах и конденсаторах. Существуют различные методы прямого численного моделирования движения многокомпонентных потоков, однако из-за сложности моделирования отдельных подпроцессов описание движения многофазных потоков считается сложной задачей. Для моделирования многофазных и многокомпонентных потоков жидкости могут быть использованы различные способы, при этом можно выделить основные два подхода к моделированию: метод отслеживания интерфейса и метод захвата интерфейса. Методы отслеживания интерфейса включают метод объема жидкости [1], отслеживание фронта [2] и погруженной границы [3]. К методу захвата интерфейса относится метод установки уровня [4] и метод фазового поля [5]. Основная идея методов отслеживания интерфейса состоит в отслеживании объема жидкости с помощью лагранжевых частиц, в то время как в методах захвата интерфейса интерфейс неявно захватывается контуром скалярной функции (к примеру, массовая концентрация в методе фазового поля). В последние годы для моделирования сложных многофазных систем широко используемым методом стал метод решеточного уравнения Больцмана (LBM). В частности, было разработано несколько моделей

* E-mail корреспондирующего автора: agadaeva.dilyara@gmail.com

LBE для многофазных и многокомпонентных течений: модель Шан-Чена [6], модель Хе [7], цветовая модель Розмэна Келлера [8], модели на основе свободной энергии [9], модели фазового поля [10] и модель Аллена-Кана [15].

В данной статье представлена разработка математической модели движения несжимаемого трехкомпонентного потока жидкости с использованием метода фазового поля на основе решения полного уравнения Навье-Стокса и конвективного уравнения Кана-Хиллиарда. Численная модель строится на основе LBM с использованием модели D2Q9. Точность и эффективность существующего метода апробированы на основе решения тестовой задачи неустойчивости Рэлей-Тэйлора. Полученные результаты определяют правильность построенной модели для трехкомпонентной жидкости.

Постановка задачи. Исследуемый процесс рассматривается в ограниченной области, имеющей форму прямоугольника размерами $[0, L] \times [0, 4L]$, где под действием силы поверхностного натяжения и силы тяжести описывается неустойчивость Рэлей-Тэйлора для трехкомпонентного потока жидкости. В прямоугольной области, как это показано на рисунке 1, находится три компонента жидкости с плотностью ρ_1, ρ_2 и ρ_3 , соотношение которых: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.

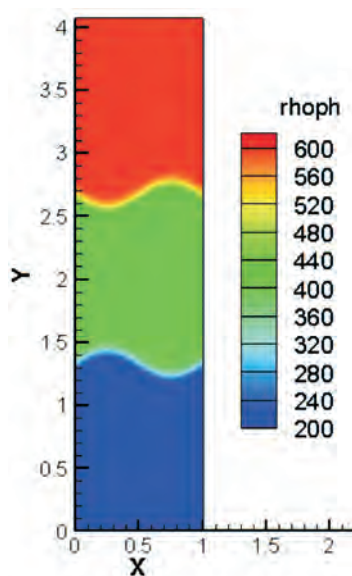


Рисунок 1 – Схема расчетной области

Математическая модель такого процесса также включает уравнение неразрывности, уравнение импульса для смеси и конвективного уравнения Кана-Хиллиарда:

$$\nabla u = 0,$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla(\rho u u) = -\nabla p + \nabla[\eta(\nabla u + \nabla u^T)] + F_s + F_b, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(c_i)}{\partial t} + \nabla(c_i u) = \nabla(M_i \nabla \mu_i), \quad i = 1, 2, 3$$

где u – компоненты скорости, p – давление, ρ – плотность, где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – плотности жидкости, η – динамическая вязкость, c_i – фазовое поле для компонентов жидкости, g – ускорение свободного падения, M_i – коэффициент подвижности, μ_i – химический потенциал, $F = F_s + F_b = \sum_{i=1}^3 \mu_i \nabla c_i + \rho g$ – суммарная сила поверхностного натяжения и силы тяжести.

В моделях фазового поля для описания трехкомпонентного потока жидкости используется три параметра порядка c_1, c_2 и c_3 , которые связаны следующим образом [11]:

$$c_1 + c_2 + c_3 = 1, \quad (2)$$

и удовлетворяют конвективным уравнениям Кана-Хиллиарда в многокомпонентной теории фазового поля [10, 13]:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \nabla \cdot c_i u = \nabla \cdot (M_i \nabla \mu_i) \quad (3)$$

Для системы многокомпонентной среды функционал свободной энергии Ландау F может быть определен на основе параметра порядка следующим образом:

$$F = (\vec{c}, \nabla \vec{c}) = \int_V \left[\Psi(\vec{c}) + \sum_{i,j} \frac{\lambda_{ij}}{2} \nabla c_i c_j \right] dV,$$

где $\Psi(A) = \sum_{i,j} \beta [g(c_i) - g(c_j) - g(c_i + c_j)]$ – объемная плотность свободной энергии, $c = (c_1, c_2, c_3)$ – фазовая переменная компонентов жидкости, $g(c) = c^2(1-c)^2$ и $\beta_{ij} = \frac{3}{D} \sigma_{ij}$ – константы.

Для трехкомпонентной жидкости объемная свободная энергия $F(c_1, c_2, c_3)$ определена как [21]:

$$F(c_1, c_2, c_3) = \frac{\lambda_1}{2} c_1^2 (1 - c_1)^2 + \frac{\lambda_2}{2} c_2^2 (1 - c_2)^2 + \frac{\lambda_3}{2} c_3^2 (1 - c_3)^2 + \lambda c_1^2 c_2^2 c_3^2,$$

где λ – неотрицательный параметр, $\lambda_i (i = 1, 2, 3)$ коэффициент поверхностного натяжения и D – толщина поверхности раздела. λ_i определяется следующим образом:

$$\lambda_1 = \sigma_{12} + \sigma_{13} - \sigma_{23},$$

$$\lambda_2 = \sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13},$$

$$\lambda_3 = \sigma_{13} + \sigma_{23} - \sigma_{12},$$

где $\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{13}$, представляют собой поверхностное натяжение между двумя жидкостями трехфазной системы [16, 17, 18].

После определения полной свободной энергии подставим в выражение химического потенциала [21]:

$$\mu_i = \frac{4\lambda_T}{D} \sum_{j \neq i} \left[\frac{1}{\lambda_T} \left(\frac{\partial F}{\partial c_i} - \frac{\partial F}{\partial c_j} \right) \right] - \frac{3}{4} D \lambda_i \nabla^2 c_i. \quad (4)$$

где $\frac{3}{\lambda_T} = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{\lambda_i}$.

Согласно теоретическому анализу Бойера [19, 20], $\lambda_i (i = 1, 2, 3)$ если положительные и удовлетворяют условию $\lambda_i > 0,5 \lambda_T$, то модель для $\lambda = 0$ может алгебраически и динамически согласовываться с двухфазным случаем. В противном случае для обеспечения динамической согласованности модели используется полная свободная энергия с положительным λ . В таком случае уравнение (7) можно упростить следующим образом:

$$\mu_i = \frac{12}{D} [\lambda_i c_i (1 - c_i) (1 - 2c_i) - 2\lambda_T c_1 c_2 (1 - c_1 - c_2)] - \frac{3}{4} D \lambda_i \nabla^2 c_i.$$

Выше полученное μ_i подставим в уравнение (3), в результате чего система (1) будет полной.

Система уравнений (1) имеет следующие начальные условия:

$$\begin{cases} c_1(x, y, 0) = 0,5 + 0,5 \tanh \left[\frac{2 \left(y - \frac{8L}{3} + 0,1 \sin(2\pi x) \right)}{\sqrt{2k_{12}}} \right], \\ c_2(x, y, 0) = 0,5 + 0,5 \tanh \left[\frac{2 \left(y - \frac{4L}{3} - 0,1 \sin(2\pi x) \right)}{\sqrt{2k_{23}}} \right] - c_1(x, y, 0), \\ c_3(x, y, 0) = 1 - c_1(x, y, 0) - c_2(x, y, 0). \end{cases}$$

где $k_{12} = 3\sigma_{12}D/8$ и $k_{23} = 3\sigma_{23}D/8$.

Граничные условия:

На нижней стенке при ($y = 0$):

$$u = v = 0, \quad \frac{\partial c_1}{\partial y} = \frac{\partial c_2}{\partial y} = \frac{\partial c_3}{\partial y} = 0.$$

На боковых стенках при ($x = L$):

для u, v, c_1, c_2, c_3 – периодические граничные условия.

На верхней стенке при ($y = 4L$):

$$u = v = 0, \quad \frac{\partial c_1}{\partial y} = \frac{\partial c_2}{\partial y} = \frac{\partial c_3}{\partial y} = 0.$$

Численный метод. Численное решение данной модели строится на D2Q9 модели решеточного метода Больцмана. Решеточное уравнение Больцмана в аппроксимации Батнагара-Гросса-Крука (BGK) записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} f_i(\bar{x} + \bar{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - f_i(\bar{x}, t) &= - \frac{f_i(\bar{x}, t) - f_i^{eq}(\bar{x}, t)}{\tau_f} + \Delta t F_i \\ g_i^m(\bar{x} + \bar{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - g_i^m(\bar{x}, t) &= (1 - q) \frac{1}{\tau_c} [g_i^m(\bar{x}, t) - g_i^{m,eq}(\bar{x}, t)] \end{aligned}$$

где $m = 1, 2, 3$ – компоненты жидкости, f_i, g_i^m – функции распределения скорости и фазового поля, e_i – дискретная решеточная скорость, $\tau_f = \frac{1}{2} + c_1 \left(\tau_1 - \frac{1}{2} \right) + c_2 \left(\tau_2 - \frac{1}{2} \right) + (1 - c_1 - c_2) \left(\tau_3 - \frac{1}{2} \right)$, $\tau_c = 1$ – время релаксации, F_i – компонент внешней силы, Δt – решеточный шаг по времени, $f_i^{eq}, g_i^{m,eq}$ – равновесная функция распределения скорости и фазового поля.

Равновесные функции определяются следующим образом [13]:

$$f_i^{eq} = \begin{cases} \rho - \sum_{i \neq 0} f_i^{eq}, & i = 0 \\ \omega_{ip} \left(1 + \sum_{m=1}^3 \frac{c_m \mu_m}{\rho c_s^2} + \frac{e_{i\alpha} u_\alpha}{c_s^2} + \frac{u_\alpha u_\beta (e_{i\alpha} e_{i\beta} - c_s^2 \sigma_{\alpha\beta})}{2c_s^2} \right), & i \neq 0 \end{cases}$$

$$g_i^{m,eq} = \begin{cases} c_m - \sum_{i \neq 0} q_i^{m,eq}, & i = 0 \\ \omega_i \left(\frac{\Gamma_m \mu_m}{c_s^2} + \frac{c_m e_{i\alpha} u_\alpha}{c_s^2} + \frac{c_m u_\alpha u_\beta (e_{i\alpha} e_{i\beta} - c_s^2 \sigma_{\alpha\beta})}{2c_s^2} \right), & i \neq 0 \end{cases}$$

где $c_s^2 = \frac{1}{3}$ – скорость света.

Для модели D2Q9 дискретные скорости вычисляются следующим образом:

$$e_{ix} = (0, 1, 1, 0, -1, -1, -1, 0, 1)c$$

$$e_{iy} = (0, 0, 1, 1, 1, 0, -1, -1, -1)c$$

Значения весовых параметров по всем направлениям определяются как:

$$\omega_i = \begin{cases} \frac{4}{9}, & i = 0, \\ \frac{1}{9}, & i = 1 - 4, \\ \frac{1}{36}, & i = 5 - 8 \end{cases}$$

В данной работе для аппроксимации внешней силы в LBM используется схема, предложенная Гуо и др. [14]:

$$F_i(x, t) = \omega_i \left(1 - \frac{\Delta t}{2\tau_f} \right) \left(\frac{\bar{e}_i - \bar{u}}{c_s^2} + \frac{\bar{e}_i (\bar{e}_i \bar{u})}{c_s^4} \right) \bar{F}$$

где $\bar{F} = \bar{F}_s + \bar{F}_b$.

Уравнение эволюции делится на два шага как столкновение и распространение:

$$f_i^8(\bar{x}, t) = f_i(\bar{x}, t) + \Delta t \left(-\frac{f_i(\bar{x}, t) - f_i^{eq}(\bar{x}, t)}{\tau_f} + F_i \right)$$

$$g_i^{m,8}(\bar{x}, t) = g_i^m(\bar{x}, t) + \Delta t \left(-\frac{g_i^m(\bar{x}, t) - g_i^{m,eq}(\bar{x}, t)}{\tau_c} \right)$$

$$f_i(\bar{x} + \bar{e}_i \Delta t, t + \Delta t) = f_i^8(\bar{x}, t)$$

$$g_i^m(\bar{x} + \bar{e}_i \Delta t, t + \Delta t) = g_i^{m,8}(\bar{x}, t)$$

После второго шага обновляются макроскопические параметры (плотность, скорость и фазовое поле) по следующим формулам:

$$\rho = \sum_{i=0}^8 f_i, \rho u = \sum_{i=0}^8 f_i \bar{e}_i + \frac{\Delta t}{2} \bar{F}, c_m = \sum_{i=0}^8 \square_i$$

Производные макроскопических переменных вычисляются с использованием следующих изотропных разностей второго порядка:

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{1}{3(\Delta x)^2} \left[\sum_{i=2}^9 c(x + e_i \Delta x) - 8c(x) \right].$$

Для замыкания системы уравнений были использованы следующие граничные условия. Условие нулевой скорости для всех стенок:

$$f_i(\bar{x}_w, t + \Delta t) = f_{-i}(\bar{x}_w, t + \Delta t), \bar{e}_i \cdot \bar{n} > 0$$

где фаза постоянна и граничные условия для функций распределения выбираются следующим образом:

$$g_i^m(\bar{x}_w, t + \Delta t) = g_{-i}^m(\bar{x}_w, t + \Delta t) + 2\omega_i c_w, \bar{e}_i \cdot \bar{n} > 0$$

где c_w – пристеночная фаза.

Условие Неймана для фазы на всех остальных стенках:

$$g_i^m(\bar{x}_w, t + \Delta t) = g_{-i}^m(\bar{x}_w, t + \Delta t), \bar{e}_i \cdot \bar{n} > 0$$

Результаты моделирования. Рассматривается тестовая задача неустойчивости Рэлей-Гэйлора для трехкомпонентного потока жидкости в прямоугольной расчетной области, имеющей размеры: $N_x \times N_y$, $N_x = 40$, $N_y = 160$ которая разделена на три равные подобласти, а плотность компонентов жидкости увеличивается от нижней к верхней подобласти. Физический размер длины равен $L = 0,01$ Шаг по пространству и по времени определяются как $\Delta x = \frac{L}{N_x}$, $\Delta t = 0,00025$.

Физические величины: плотность – $\rho_1 = 600$, $\rho_2 = 400$, $\rho_3 = 200$ и вязкость – $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,01$, поверхностное натяжение – $\sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0,01$, время релаксации – $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0,8$, толщина поверхности – $D = 2$, ускорение свободного падения – $g = 9,8$, число Рейнольдса – $Re = 125,22$, число капиллярности – $Ca = 0,000782624$.

Результаты моделирования показывают (рисунок 2,3), что неустойчивость Рэлей-Гэйлора наблюдается одновременно во всех подобластях. На ранней стадии ($t < 2$) менее плотная жидкость (плотностью $\rho_3 = 200$) начинает подниматься рассматривае-

мого пространства, в то время как более плотная жидкость (плотностью $\rho_1 = 600$) начинает свое движение вниз. С течением времени наблюдается увеличение в размерах всплесков компонентов жидкости, а в определенный момент образуются два боковых всплеска большого, относительно всей области, размера. Впоследствии поток менее плотного компонента жидкости устремляется вверх, создавая соответствующее возмущение соседних слоев жидкости. При $t > 3$ неустойчивость Рэлей-Тэйлора становится более явной. В конце концов, формируются стабильные три слоя компонента жидкости – внизу более плотная; вверху – менее плотная.

Полученные результаты определяют адекватность построенной модели для трехкомпонентной жидкости.

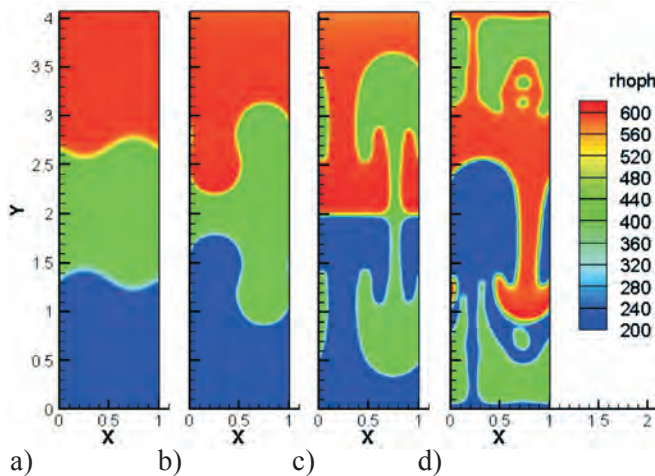


Рисунок 2 – Динамика изменения контуров плотности трехкомпонентного потока жидкости в зависимости от времени для задачи неустойчивости Рэлей-Тейлора:

a) $t = 0$; b) $t = 0,25$; c) $t = 0,5$; d) $t = 1$.

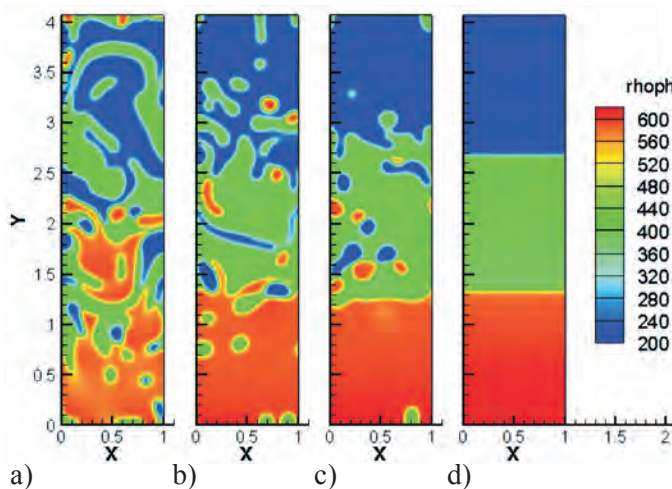


Рисунок 3 – Динамика изменения контуров плотности трехкомпонентного потока жидкости в зависимости от времени для задачи неустойчивости Рэлей-Тейлора:

a) $t = 2$; b) $t = 3$; c) $t = 4$; d) $t = 6,5$.

Заключение. В данной работе разработана математическая модель движения трёхкомпонентного потока жидкости для задачи неустойчивости Рэлея-Тейлора. С целью моделирования неустойчивости Рэлея-Тейлора был разработан численный алгоритм на базе D2Q9 модели решеточного метода Больцмана. Для несжимаемого потока используется два набора функций распределения: один для отслеживания полей скорости, а другой – для фазового поля. Использование функции распределения давления позволяет существенно снизить влияние численных ошибок при расчете межмолекулярной силы.

Проведенное моделирование неустойчивости Рэлея-Тейлора раскрывает большинство особенностей для задач, встречающихся в теоретических и численных исследованиях. Предлагаемая модель и метод реализации позволяют отслеживать интерфейс трехфазных потоков более точно и стабильно. Использование LB является новым подходом к моделированию задач описания движения трёхкомпонентной жидкости, позволяющим установить распределение скорости и фазовых компонентов. Главным выводом настоящего исследования также можно считать следующее: в случае, когда три компонента жидкости расположены таких образом, что менее плотная внизу, а более плотная – сверху; неустойчивость Рэлея-Тэйлора наблюдается на двух границах компонентов жидкости одновременно. Как видно из рисунков 2,3 на более ранней стадии процесса () имеет место образование пузырьков компонентов разноплотностной жидкости, а позже – полное перемещение менее плотной жидкости вверх. При этом более плотная жидкость устремляется вниз. Здесь также при прохождении переменной стадии наблюдается образование пузырьков. Наступает устойчивость процесса, когда вниз полностью переместилась более плотная компонента жидкости. Это доказывает применимость (а в некоторых случаях – преимущество) используемых в данном исследовании методов для решения задач такого типа.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования проектов Министерством образования и науки Республики Казахстан (грант №AP08053154).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Д. Гейффье, Дж. Ли, А. Надим, Р. Скардовелли, С. Залески. Отслеживание границ раздела флюидов с помощью методов сглаженных поверхностных напряжений для трехмерных течений / Дж.Вычисл. Физ. 152 (1999) 423-456.
- 2 Дж. Глимм, Дж. У. Гроув, Х. Л. Ли, К. М. Шьюэ, К. Чжан и Ю. Цзэн, Трехмерное отслеживание фронта./ СИАМ Дж. Научный расчет., 19 (1998) 703-727.
- 3 Х. С. Удайкумар, Х. С. Кан, У. Ший, Р. Тран-Син-Тай, Многофазная динамика в произвольных геометриях на фиксированных декартовых сетках./ Дж.Вычисл. Физ. 137 (1997) 366-405.
- 4 Ю. С. Чанг, Т. Я. Хоу, Б. Мэрриман, С. Ошер, Формулировка набора уровней методов захвата интерфейса Эйлера для потоков несжимаемой жидкости / J. Вычисл. Физ. 124 (1996) 449-464.
- 5 Р. Челла, Дж. Виналс, Смешивание двухфазной жидкости полостным потоком, Phys. Rev. E 53 (1996) 3832-3840.
- 6 Шан Х., Чен Х. Решетчатая модель Больцмана для моделирования потоков с несколькими фазами и компонентами / Phys. Rev. E 47 (1993) 1815-1839.

7 Хе Х., Чен С., Чжан Р. Решетчатая схема Больцмана для несжимаемого многофазного потока и ее применение при моделировании неустойчивости Рэлея-Тейлора / *Ж. Вычисл. Физ.* 152 (1999) 642-663.

8 Ротман Д. Х., Келлер Дж. М. Несмешивающиеся жидкости клеточных автоматов/ *Дж. Стат. Физ.* 52 (1988) 1119-1127.

9 Свифт М. Р., Осборн У. Р., Йоменс Дж. М., Решеточное моделирование неидеальных жидкостей по Больцману/ *Физ. ред. Летт.* 75 (1995) 830-843.

10 Ким Дж. Модели фазовой жидкости для многокомпонентных потоков жидкости/ *Коммун. Вычислитель. Физ.* 12, № 3 (2012) 613-661.

11 Ким Дж. Вычисления фазовой жидкости для тройных потоков жидкости./ *Вычисл. Метамфетамин. Приложение. Механик. англ.*, 196 (2007) 4779-4788.

12 Крюгер Т., Кусумаатмая Х., Кузьмин А., Шардт О., Сильва Г., Вигген Э. М. «Решетчатый метод Больцмана» / *Springer International Publishing* 258, (2017), 61-293.

13 Го З., Чжэн С., Ши Б., Дискретные эффекты решетки на форсирующий член в решеточном методе Больцмана/ *Физика. Rev. E.* 65 (2002), 1-6.

14 С. М. Аллен, Дж. У. Кан / *Acta Metall* 24 (1976), 425.

15 С. Донг, Ограниченные стенкой многофазные потоки N несмешивающихся несжимаемых жидкостей: согласованность и граничное условие угла контакта./ *Ж. Вычисл. Физ.* 338 (2017), 21-67.

16 Х. Г. Ли, Дж. У. Чой, Дж. Ким, Практически безоговорочно градиентная устойчивая схема для N-компонентной системы Кана-Хиллиарда, *Физика А* 391(2012), 1009-1019.

17 Ф. Бойер и С. Миньо, Иерархия последовательных n-компонентных систем Канчиллиарда / *Математика. Мод. Метамфетамин. Приложение.* S. 24 (2014), 2885-2928.

18 Х. Г. Ли и Дж. Ким, Эффективный численный метод моделирования многофазных потоков с использованием модели диффузного интерфейса. *Physica A* 423, 33 (2015).

19 С. Донг, Эффективный алгоритм для несжимаемых N-фазных потоков/ *Вычисл. Физ.* 361, 1 (2018).

20 Х. Лян, Дж. Сюй, Дж. Чен, Ж. Чай, Б. Ши, Решетчатое моделирование Больцмана ограниченных стенками тройных потоков жидкости/ *Приложение. Математика. Моделирование* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.009>

REFERENCES

1 D. Gueyffier, J. Li, A. Nadim, R. Scardovelli, S. Zaleski, Volume-of-fluid interface tracking with smoothed surface stress methods for three-dimensional flows, *J. Comput. Phys.* 152 (1999) 423-456.

2 J. Glimm, J. W. Grove, X. L. Li, K. M. Shyue, Q. Zhang and Y. Zeng, Three-dimensional front tracking, *SIAM J. Sci. Comput.*, 19 (1998) 703-727.

3 H.S. Udaykumar, H.C. Kan, W. Shyy, R. Tran-Sin-Tay, Multiphase dynamics in arbitrary geometries on fixed Cartesian grids, *J. Comput. Phys.* 137 (1997) 366-405.

4 Y.C. Chang, T.Y. Hou, B. Merriman, S. Osher, A level set formulation of Eulerian interface capturing methods for incompressible fluid flows, *J. Comput. Phys.* 124 (1996) 449-464.

5 R. Chella, J. Vinals, Mixing of two-phase fluid by cavity flow, *Phys. Rev. E* 53 (1996) 3832-3840.

6 Shan X., Chen H. Lattice Boltzmann model for simulating flows with multiple phases and components, *Phys. Rev. E* 47 (1993) 1815-1839.

7 He X., Chen S., Zhang R. A Lattice Boltzmann scheme for incompressible multiphase flow and its application in simulation of Rayleigh-Taylor instability, *J. Comput. Phys.* 152 (1999) 642-663.

- 8 Rothman D.H., Keller J.M. Immiscible cellular-automaton fluids, J. Stat. Phys. 52 (1988) 1119-1127.
- 9 Swift M.R., Osborn W.R., Yeomans J.M., Lattice Boltzmann simulation of nonideal fluids, Phys. Rev. Lett. 75 (1995) 830-843.
- 10 Kim J. Phase fluid models for multi-component fluid flows, Commun. Comput. Phys. 12, no 3 (2012) 613-661.
- 11 Kim J. Phase fluid computations for ternary fluid flows, Comput. Meth. Appl. Mech. Eng., 196 (2007) 4779-4788.
- 12 Kruger T., Kusumaatmaja H., Kuzmin A., Shardt O., Silva G., Viggen E.M., «The Lattice Boltzmann-Method», Springer International Publishing 258, (2017), 61-293.
- 13 Guo Z., Zheng C., Shi B., Discrete lattice effects on the forcing term in the lattice Boltzmann method, Phys. Rev. E. 65 (2002), 1-6.
- 14 S. M. Allen, J. W. Cahn, Acta Metall 24 (1976), 425.
- 15 S. Dong, Wall-bounded multiphase flows of N immiscible incompressible fluids: Consistency and contact-angle boundary condition, J. Comput. Phys. 338 (2017), 21-67.
- 16 H. G. Lee, J. W. Choi, J. Kim, A practically unconditionally gradient stable scheme for the N-component Cahn-Hilliard system, Physica A 391(2012), 1009-1019.
- 17 F. Boyer and S. Minjeaud, Hierarchy of consistent n-component Cahn-Hilliard systems, Math. Mod. Meth. Appl. S. 24 (2014), 2885-2928.
- 18 H. G. Lee and J. Kim, An efficient numerical method for simulating multiphase flows using a diffuse interface model, Physica A 423, 33 (2015).
- 19 S. Dong, An efficient algorithm for incompressible N-phase flows, Comput. Phys. 361, 1 (2018).
- 20 H. Liang, J. Xu, J. Chen, Zh. Chai, B. Shi, Lattice Boltzmann modeling of wall-bounded ternary fluid flows, Appl. Math. Modelling (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.009>

Д. Б. ЖАКЕБАЕВ, Д. С. АГАДАЕВА, О. Л. КАРУНА

*Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,
Алматы қаласы, Қазақстан*

ҮШ КОМПОНЕНТТІ СҰЙЫҚ ҮШІН LB САНДЫҚ ӘДІСІ

Бұл мақалада беттік керілу күштерін ескере отырып, сұйықтықтың үш компонентті ағыны үшін ауырлық күшінің әсерінен пайда болатын Рэлей-Тейлор тұрақсыздығы мәселесінің сандық шешімі қарастырылады. Зерттелетін процесс тіктөртбұрыш тәрізді шектеулі аймақта қарастырылады. Сұйықтық компоненттерінің тығыздығы келесідей: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$. Үш компонентті сұйықтық үшін көрсетілген процесті сипаттауға арналған математикалық модель сығылмайтын сұйықтық үшін Навье-Стокс теңдеуіне және Кан-Хиллиард теңдеуіне негізделген. Сандық модель D2Q9 моделін қолдана отырып, LBM (LBM – Lattice Boltzmann method) негізінде жасалады. Бұл жылдамдық пен фазалық компоненттердің таралуын анықтауға мүмкіндік беретін үш компонентті сұйықтықтың қозғалысын сипаттау мәселелерін модельдеудің жаңа тәсілі. Алынған нәтижелер үш компонентті сұйық үшін құрылған модельдің дұрыстығын айқындайды.

Түйін сөздер: *үш компонентті сұйық, фазалық өріс әдісі, фазалық таралу, Больцман торлық теңдеуі әдісі, Кан-Хиллиард теңдеуі, Рэлей-Тэйлор орнықсыздығы.*

D. B. ZHAKEBAYEV, D. S. AGADAYEVA, O. L. KARUNA

*Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan*

LBM OF TERNARY FLUID FLOW

In this paper, we the numerical solution of the Rayleigh-Taylor instability problem arising under the action of gravity for a ternary fluid flow taking into account the surface tension forces. The process under study is considered in a bounded area having the shape of a rectangle. The density of the liquid components is such that: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$. The mathematical model constructed to describe this process for ternary fluid is based on the Navier-Stokes equation for an incompressible fluid and the Cahn-Hilliard equation. The numerical model is based on the LBM (LBM – Lattice Boltzmann method) using the D2Q9 model. This is a new approach to modeling the problems of describing the motion of a ternary fluid, which allows us to determine the distribution of velocity and phase components. The obtained results determine the adequacy of the constructed model for a three-component liquid.

Keywords: *ternary fluid flow, phase-field method, interfaces capturing, Lattice Boltzmann method, Cahn-Hilliard equation, Rayleigh Taylor instability.*

**А. А. БЕЛОЩИЦКИЙ^{1,2*}, А. Ю. КУЧАНСКИЙ², Ю. В. АНДРАШКО³,
Д. ЕДИЛХАН⁴, С. Н. ТОКСАНОВ⁴, А.Р. ФАЙЗУЛЛИН⁵**

¹*Astana IT University, г. Нур-Султан, Казахстан*

²*Киевский национальный университет им. Т.Шевченко, г. Киев, Украина*

³*Ужгородский национальный университет, г. Ужгород, Украина*

⁴*Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

⁵*Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан*

*e-mail Andrii.Biloshchytskyi@astanait.edu.kz, kuczanski@gmail.com,
andrashkojv@gmail.com, d.yedilkhan@astanait.edu.kz, sapar.toxanov@astanait.edu.kz,
adil.fazullin@astanait.edu.kz*

МОДЕЛИ СЕЛЕКТИВНОГО И ГИБРИДНОГО ТИПОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В SMART SYSTEM

Разработаны комбинированные модели селективного и гибридных типов с индексацией временных рядов для прогнозирования уровня загрязнения воздуха в Smart System. Индексация в данных моделях происходит на основе метода ближайшего соседа с выбранными метрическими расстояниями. Описанные модели позволяют достичь высокой точности краткосрочного и среднесрочного прогнозирования по сравнению с моделями, которые включаются в базовое множество этих комбинированных моделей. Модели и соответствующие методы могут использоваться при построении Smart System мониторинга состояния окружающей среды и аппаратно-программных комплексов для общего экологического мониторинга.

Ключевые слова: *комбинированные модели прогнозирования; загрязнение воздуха; экологический мониторинг.*

Введение. Загрязнители воздуха могут вызвать широкое многообразие проблем, включая уменьшение видимости, неприятные запахи, вред культурным растениям, негативное влияние на здоровье людей и животных (сердечно-сосудистые, нервные заболевания, повреждения дыхательной системы, глаз, почек и других органов). Они не только влияют на воздух, но также могут загрязнять воду и пищевые продукты. Общее качество нашей окружающей среды в некоторых случаях может серьезно влиять на выживание людей, животных и растений. Эффект воздействия на окружающую среду зависит от характера и протяженности источников воздушного загрязнения, где, как и на какой высоте загрязнители выбрасываются в воздух, возникают химические превращения при выбросе загрязнителей, а также от метеорологических факторов. Контроль и прогнозирование уровня загрязнения воздуха необходим для того, чтобы защитить окружающую среду и здоровье человека.

Задачей исследования является построение комбинированных моделей селективного и гибридных типов с индексацией временных рядов для расчета краткосрочного и среднесрочного прогноза уровней загрязнения воздуха. Предполагается, что данные модели могут помочь эффективно выявлять и предвидеть загрязнители, концентрация которых возрастает и может нанести вред. Это позволит осуществлять оперативное

* E-mail корреспондирующего автора: andrii.biloshchytskyi@astanait.edu.kz

управление различными аспектами экологической безопасности на той или иной территории (в городе, в промышленной зоне и т.п.). Поскольку состояние окружающей среды как объект динамично меняется, то функционирование этого объекта может происходить в некоторой Инфокоммуникационной системе или Smart System.

Smart System мониторинга состояния окружающей среды представляет собой сочетание:

- аппаратно-программного комплекса по экологическому мониторингу. Аппаратная часть комплекса экологического мониторинга представляет собой экологическую станцию, предназначенную для непрерывного мониторинга различных экологических показателей окружающей среды, предварительной обработки информации, ее хранения и передачи в программной части с помощью определенных каналов связи. Программная часть построена с применением микро-сервисной архитектуры и предназначена для сбора, обработки и хранения информации из сети экологических станций, ее анализа и отображения конечным пользователем;

- методов обработки входящей информации и моделей прогнозирования уровней загрязнения воздуха и тому подобное;

- источников информации (информация о загрязнении воздуха различными загрязнителями, координаты GPS с места сбора данных о состоянии окружающей среды и т.п.);

- потребителей информации (организации, занимающиеся обеспечением экологической безопасности).

С ростом промышленных мощностей и увеличением уровня развития стран задача прогнозирования загрязнения воздуха становится все более актуальной. В работе [1] исследовано применение моделей нейронных сетей к прогнозированию концентрации некоторых загрязняющих веществ в воздухе Лондона. В работе [2] авторы также применили к этой задаче нейросети с возможностью обнаружения периодических компонент в изменении концентрации загрязнителей. В работе [3] рассматривается метод опорных векторов для краткосрочного прогнозирования уровня загрязнения воздуха города Макао.

В данном исследовании рассматривается построение комбинированных моделей селективного и гибридных типов с предыдущей индексацией временных рядов. В работе [4] рассматриваются особенности выявления сходства во временных рядах. В работах [5, 6] рассматривается использование метода ближайшего соседа для прогнозирования временных рядов, в том числе финансовых. В работе [7] рассматривается метод прогнозирования, который использует сравнения различных фрагментов временного ряда с образцом. В работе [8] рассматривается метод прогнозирования на основе селективного сопоставления с образцом, описаны возможные критерии селекции моделей прогнозирования. Метод прогнозирования знаков приростов, который использует принципы построения комбинированных моделей описано в работе [9]. Для эффективного прогнозирования, при выборе параметров моделей или на этапе принятия решений по тенденции изменения значений временного ряда может быть использовано нечеткие экспертные системы, методы построения которых описано в работе [10].

Исследовательские материалы и результаты исследования

Уровень загрязнения воздуха специфическими загрязнителями (оксид углерода, гидрокарбонаты, диоксин серы, диоксин азота, свинец, ртуть и т. д.) фиксируется в определенные моменты времени можно представить в виде конечного дискретного временного ряда без пропусков как последовательности действительных чисел, обозначающих концентрацию загрязнителя $r_i \in R, i = 1, n$

$$R = (r_1, r_2, \dots, r_n) \quad (1)$$

В данном случае временной ряд представляет уровни загрязненности воздуха одним из загрязнителей (оксид углерода, гидрокарбонаты, диоксин серы, диоксин азота, свинец, ртуть и т. д.), фиксируется аппаратно-программным комплексом Smart System мониторинга состояние окружающей среды. Значения могут быть зафиксированы с периодичностью в месяц, неделю, день, час и т.п. Задача заключается в расчете оценки уровня загрязненности воздуха одним из загрязнителей с горизонтом, то есть для каждого следующего момента времени $n + 1, n + 2, \dots, n + \theta$. Другими словами, необходимо построить модель, которая бы позволяла рассчитать оценки прогнозов уровня загрязнения с периодом $\tau = 1, \theta$, то есть рассчитать значение прогнозируемого часового ряда:

$$R^* = (\bar{r}_{n+1}, \bar{r}_{n+2}, \dots, \bar{r}_{n+\theta}), \quad (2)$$

где θ фиксируется перед расчетом прогноза.

Пусть m – объем ретроспективной выборки, то есть размерность того участка входного временного ряда, непосредственно предшествует точке, в которой рассчитывается прогноз (точке r_n) и которая задействована в расчете оценок прогноза, $m \leq n$. Функциональная зависимость, на основе которой определяются оценки прогноза (2) называется моделью прогнозирования. Причем $\bar{r}_{n+\tau}$ – оценка прогноза, который рассчитывается в точке r_n на τ точек вперед или с периодом $\tau, \tau = 1, \theta$. Если формально обозначить такую модель через f , то прогноз, который рассчитывается в точке r_n на одну точку вперед или с периодом 1, можно определить следующим образом:

$$\bar{r}_{n+1} = f(r_{n-m+1}, r_{n-m}, \dots, r_n). \quad (3)$$

Для прогнозирования таких временных рядов могут быть применены трендовые модели, адаптивные полиномиальные модели сглаживания и тому подобное. Для расчета прогноза рассмотрим подход построения комбинированных моделей с учетом сходства в динамике входного временного ряда, а также других временных рядов уровня загрязнения воздуха. Рассмотрим два типа комбинированных моделей: селективный и гибридный. Прогноз в селективной комбинированной модели реализуется на основе единой модели, избирается путем селективного отбора из базового набора моделей. Процедура селективного отбора реализуется на основе некоторого критерия селекции. Критерий селекции, как правило, представляет собой оценку погрешности прогнозирования данной модели в точке прогноза. В данном исследовании будем осуществлять селективный выбор отдельно для каждого из значений $\tau = 1, \theta$. Это связано с тем, что некоторые модели являются более точными для краткосрочного прогнозирования, другие – для среднесрочного.

Пусть задан базовый набор моделей прогнозирования уровня загрязнения воздуха $F = (f_1, f_2, \dots, f_v)$. Для каждой из моделей f_k , $k = \overline{1, v}$ рассчитаем критерии эффективности для по одной из формул:

$$\Phi_0^k(\tau) = \sum_{i=0}^m b_i^k \left| r_{n-m+i} - \bar{r}_{n-m+i}^{(\tau+1),k} \right|, \quad (4)$$

$$\Phi_0^k(\tau) = \sum_{i=0}^m b_i^k \frac{\left| r_{n-m+i} - \bar{r}_{n-m+i}^{(\tau+1),k} \right|}{r_{n-m+i}} \cdot 100, \quad (5)$$

где $\bar{r}_{\square}^{(\tau+1),k}$ – прогнозные значения временного ряда, которые спрогнозированы на τ точек вперед за k -й моделью f_k , $k = \overline{1, v}$, $\square = \overline{n-m, n}$, а b_i^k , $i = \overline{0, m}$ – нормированные веса, $b_0 + b_1 + \dots + b_m = 1$.

Для прогнозирования в точке r_n на $\tau = \overline{1, \theta}$ избирается та модель из набора F , для которой для фиксированного m , $m < n$ та $j \in \{0, 1\}$, выполняется условие:

$$f^{*,\tau} = \arg \min_{k=1,v} \Phi_j^k(\tau), \quad (6)$$

где $f^{*,\tau}$ – модели, избираемых для прогнозирования на τ точек вперед или с периодом τ , $k = \overline{1, v}$, $v = \text{card}(F)$. Соответствующие оценки прогнозов по данным моделям обозначим так: \bar{r}_{n+1}^* , \bar{r}_{n+2}^* , ..., $\bar{r}_{n+\theta}^*$.

Проведем индексацию временного ряда R . Для этого рассматриваем участок ряда, который предшествует прогнозу и включает точку, в которой прогноз рассчитывается:

$$r' = (r_{n-\mu}, r_{n-\mu+1}, \dots, r_n), \quad (7)$$

где μ – размерность этого участка. Значение μ определяется экспериментальным путем или фиксируется на основе экспертного опроса. Если μ выбрать большим, то на результат индексации и соответственно прогноза будут влиять устаревшие значения временного ряда. Если μ выбрать маленьким, то теряется некоторая информация о поведении временного ряда.

Рассмотрим два варианта проведения индексации:

1. Нахождение такого участка временного ряда R размерности μ , которая подобна участку r' на основе определенной степени близости, например, расстояния Евклида (8), меры Минковского (9):

$$w_0(R, r') = \sqrt{\sum_{\square=0}^{n-2\mu} \sum_{j=1}^{\mu} \left(r_{\square+j} - r_{n-\mu+j} \right)^2}, \quad (8)$$

$$w_1(R, r') = \left(\sum_{\square=0}^{n-2\mu} \sum_{j=1}^{\mu} \left| r_{\square+j} - r_{n-\mu+j} \right|^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (9)$$

2. Введение в рассмотрение другого временного ряда $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, который также отражает уровень загрязненности воздуха и нахождение на основе определенной степени близости такого участка данного временного ряда размерности μ , которая подобна участку r' . В этом случае формулы (8), (9) будут иметь вид:

$$w_0(Z, r') = \sqrt{\sum_{h=0}^{n-\mu} \sum_{j=1}^{\mu} (z_{h+j} - r_{n-\mu+j})^2}, \quad (10)$$

$$w_1(R, r') = \left(\sum_{\square=0}^{n-\mu} \sum_{j=1}^{\mu} |z_{\square+j} - r_{n-\mu+j}|^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (11)$$

Пусть на основе первого или второго подхода был определен участок размерности μ , которая подобна r' . Обозначим ее через:

$$r'' = (r_{n-\mu-g}, r_{n-\mu-g-1}, \dots, r_{n-g}), \quad (12)$$

где $g > \mu$, $g + \mu \leq n + 1$.

Формально это означает, что среди других участков размерности μ входного временного ряда или набора временных рядов нет таких, для которых степень близости была бы меньше, чем мера близости между участками r' и r'' .

Прогноз временного ряда уровня загрязнения воздуха $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$, рассчитанный в точке r_n с горизонтом $\tau = \overline{1, \theta}$ на основе комбинированной модели селективного типа определяется по формуле:

$$\bar{r}_{n+\tau} = \rho \cdot r_{n-g+\tau} + (1-\rho) \cdot \bar{r}_{n+\tau}^*, \quad (13)$$

где $\rho \in [0, 1]$ – параметр, определяющий какой из прогнозов (на основе селекции или на основе сходства участков временного ряда) имеет больший вес в определении результата прогнозирования. Подробнее об этой модели описано в работе [8].

При построении комбинированной модели гибридного типа нужно для каждого значения $\tau = \overline{1, \theta}$ построить такие наборы моделей, обозначим их через F_τ , которые включают только те модели, которые могут быть точными на текущей участке временного ряда и $F_\tau \subset F$ при $\tau = \overline{1, \theta}$. Такой отбор применяется для того, чтобы менее точные модели с базового набора не повлияли на результат прогнозирования.

Введем в рассмотрение пороговое значение γ , определяемое прогнозом по результатам прогнозирования экспериментального участка временного ряда. Тогда по формуле (4) или (5) находим значения погрешностей и определяем множества F_τ за правилом:

$$F_\tau = \{f^k \mid \Phi_j^k(\tau) \leq \gamma, k = \overline{1, v}, j \in \{0, 1\}\}, \tau = \overline{1, \theta}, \quad \tau = \overline{1, \theta}, \quad (14)$$

то есть избираются только те модели, для которых значение погрешности не превышает порогового значения γ .

Обозначим оценки прогнозов по моделям, которые включены в наборы $F_1, F_2, \dots, F_\theta$ соответственно через $\bar{r}_{n+1}^{(1), c_\tau}, \bar{r}_{n+1}^{(2), c_\tau}, \dots, \bar{r}_{n+1}^{(\theta), c_\tau}$, где $c_\tau = 1, \text{card}(F_\tau)$. Тогда прогноз по комбинированной модели гибридного типа с учетом подобных участков входного временного ряда R рассчитывается по формуле:

$$\bar{r}_{n+\tau} = \rho \cdot r_{n-g+\tau} + (1-\rho) \cdot \left(\sum_{i=1}^{c_\tau} \varphi_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^{c_\tau} (\varphi_j \cdot \bar{r}_{n+\tau}^{(\tau), c_\tau}), \quad (15)$$

где $\rho \in [0, 1]$ – параметр, определяющий вес прогнозов, а φ_i – весовые коэффициенты, $i = \overline{1, c_\tau}$, $\tau = \overline{1, \theta}$.

Алгоритм прогнозирования по моделям гибридного и селективного типов с учетом сходства временных рядов в инфокоммуникационной системе мониторинга состояния окружающей среды состоит из следующих шагов:

1. Загрузка временного ряда R уровня загрязненности воздуха одним из загрязнителей.

2. Построение базового набора моделей. Например, базовый набор может включать адаптивные модели Хольта разных порядков, модели текучих средних и тому подобное.

3. Выбор значения горизонта прогнозирования θ и значения параметров для моделей прогнозирования. Реализация моделей прогнозирования с базового набора.

4. Для каждого $\tau = \overline{1, \theta}$ на основе базового набора строят подмножества наиболее точных моделей на текущей участке ряда, то есть наборы по формуле (14).

4. Индексация временного ряда для идентификации сходств. За основу выбирается участок входного временного ряда размерности μ , непосредственно предшествует точке, в которой выполняется прогноз. Индексация выполняется по методу ближайшего соседа. В качестве меры сходства выбирается одно из метрических расстояний (формулы (8) - (11)). На выходе получаем некий участок входного или другого временного ряда, которая подобна участку, предшествующего прогнозу.

5. Расчет прогноза с горизонтом θ на основе комбинированной адаптивной модели селективного типа с учетом индексации по формуле (13) и комбинированной модели гибридного типа с индексацией по формуле (15). Параметр сглаживания выбирается экспериментальным путем. На выходе получаем прогнозный временной ряд уровня загрязнения воздуха R^* .

Результатом исследования является формализация комбинированных моделей селективного и гибридного типов с индексацией временного ряда для прогнозирования уровня загрязнения воздуха в Smart System мониторинга окружающей среды. Выявлено, что в случае использования селективной модели прогнозирования с индексацией временного ряда, можно получить высокую эффективность прогнозирования по сравнению с моделями, которые включены в общий набор для значений $\tau \geq 3$. Использование же гибридной модели с индексацией позволяет получить высокую эффективность прогнозирования, как правило, при $\tau < 3$. Данные для проведения эксперимента были собраны аппаратно-программным комплексом по экологическому мониторингу, который включается в разработанную Smart System мониторинга состояния окружающей среды для г. Киева (Украина). На основе разработанных моделей были спрогнозированы временные ряды уровней различных загрязнителей (объем ретроспективных данных – до 1000 точек). Для общего набора моделей были включены модели Хольта, Хольта-Винтерса и изменяющиеся средние с различными периодами. В качестве меры близости для проведения процедуры индексации избрано расстояние Евклида. Например, для прогнозирования уровня загрязнения диоксином углерода в центральной части г. Киева было выявлено, что минимальная относительная погрешность среди всех моделей, функционирующих в системе, отвечает комбинированной гибридной модели с индексацией временных рядов и составляет около 1.2% минимальной погрешностью по селективной модели с индексацией, составляет около 2.4%.

Smart System мониторинга состояния окружающей среды позволяет следить за погодными условиями и микроклиматом на конкретном объекте. Например: в городе, а также в саду, теплице, ферме, поле круглый год в режиме реального времени из любой точки земного шара. Все это, безусловно, поможет нам контролировать состояние окружающей среды, прогнозировать уровень загрязнения углекислым газом и т. д. Результаты Smart System мониторинга состояния окружающей среды (Inspector Meeo) показаны на Рисунке 1.

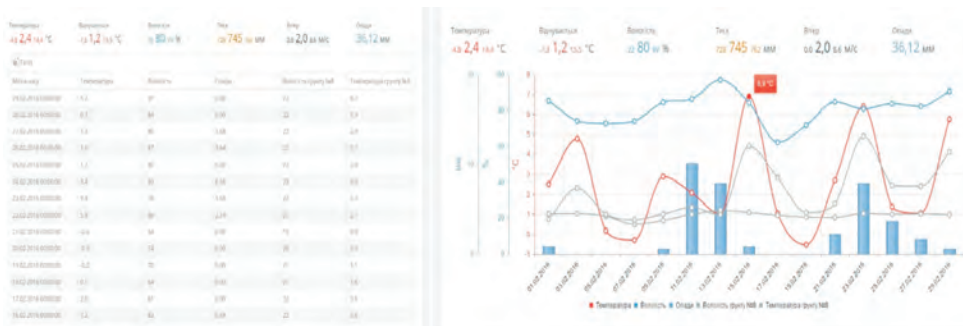


Рисунок 1 – Результаты прогнозирования в Smart System мониторинга состояния окружающей среды (Inspector Meeo).

Был разработан уникальный программируемый логический контроллер (Рис.2), который использовался для получения отчетов о загрязнении воздуха и прогнозов.

Этот контроллер модульной архитектуры предназначен для решения задач телематики, контроля и управления:

- Управление электронным и электромеханическим оборудованием;
- Автоматизация и управление технологическими процессами;
- Сбор, обработка, хранение и передача данных.

Основной особенностью контроллера является возможность работы в разных режимах: автономном и с программной интеграцией высокого уровня для настройки, администрирования и управления контроллером. Конфигурация контроллера была разработана с использованием встроенного интерпретатора языка программирования Lua.

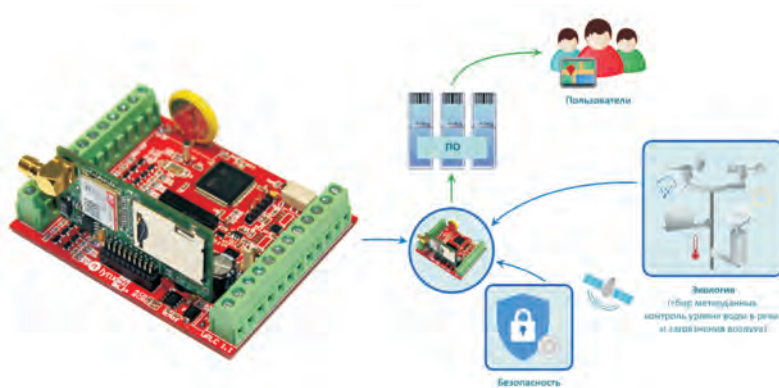


Рисунок 2 – Универсальный программируемый логический контроллер.

При проведении экспериментов мы использовали модуль GSM для передачи результатов измерений на веб-сервер. Перед отправкой данные были сжаты. Вся обработка данных и прогноз загрязнения производились на сервере. Модульная структура UPLC позволяет использовать более энергоэффективные и дешевые решения на основе стандарта IEEE 802.15.4 с использованием протокола Zigbee [11, 12].

Smart System мониторинга состояния окружающей среды (Inspector Meteo), помимо прогнозирования загрязнения окружающей среды, может также выполнять ряд задач, например (Рис. 3).

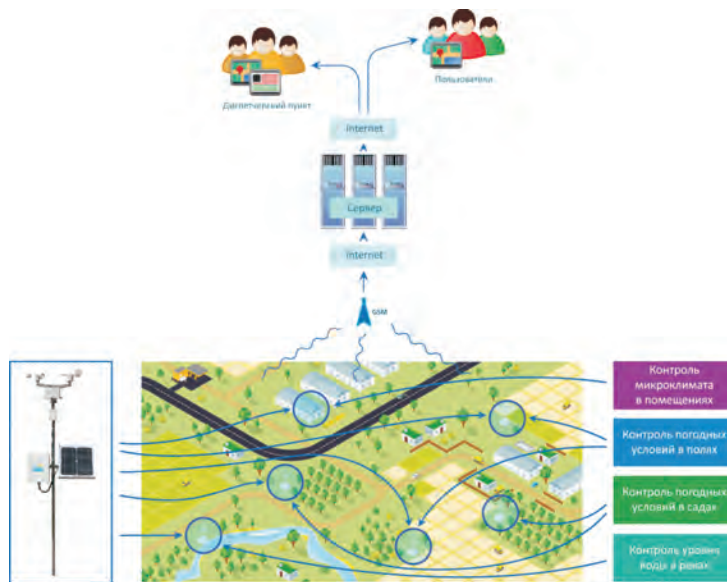


Рисунок 3 – Сфера деятельности Инспектор Метео.

Разработаны комбинированные модели селективного и гибридных типов с индексацией, которые могут быть использованы для прогнозирования уровня загрязнения воздуха, как составляющие Smart System мониторинга окружающей среды. Модели позволяют достичь высокой точности краткосрочного и среднесрочного прогнозирования по сравнению с моделями, которые включаются в базовый набор комбинированных моделей.

Разработанные модели прогнозирования временных рядов могут быть использованы не только для задачи прогнозирования уровня загрязнения воздуха. Эти модели также могут быть эффективно использованы и для задачи прогнозирования финансовых, технологических и других типов показателей, которые представляются временными рядами.

Статья написана в рамках исследований по государственному заказу на реализацию научной программы по бюджетной программе 217 «Развитие науки», подпрограмме 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности за счет средств республиканского бюджета» по теме «Разработка интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем для городской инфраструктуры: транспорт, экология, энергетика и аналитика данных в концепте Smart City».

ЛИТЕРАТУРА

1 Гарднер М., Дорлинг С. Р. “Нейросетевое моделирование и прогнозирование почасовых концентраций NOx и NO2 в городском воздухе Лондона” / *Атмосферная среда*. 1999. – V. 5(33) – с. 709-719.

2 Колемайнен М., Х. Мартикайнен Х., Руусканен Дж. “Нейронные сети и периодические компоненты, используемые в прогнозировании качества воздуха” / *Атмосферная среда*. 2001. – V. 5(35) – с. 815-825.

3 Чи-Ман Вонг, Ип Венг-Фай, Вонг Пак-Кин, Ян Цзин-И. “Краткосрочное прогнозирование загрязнения воздуха в Макао с использованием машин опорных векторов” / *Журнал науки и техники в области управления* 2012. 2012 – стр. 1-11.

4 Голдин Д. К., Канеллакис П. С. “О запросах подобия для данных временных рядов: спецификация и реализация ограничений” / 1995 1-я Международная конференция по принципам и практике программирования ограничений: Кассис, Франция. 1995 – стр. 137-153.

5 Фернандес-Родригес Ф., Сосвиля-Риверо С., Андрада-Феликс Дж. “Прогнозы ближайших соседей на валютных рынках” / *Фонд изучения экономики*, 2002. – № 5 – с. 1-36.

6 Перлин М. С. “Метод ближайшего соседа” / *Revista Eletrônica de Administração*. 2007. – V. 13 (2) – стр. 1-15.

7 Сингх С. “Моделирование моделей в прогнозировании временных рядов” / *Кибернетика и системы*. Международный журнал. 2000. – V. 31, – № 1. – с. 49-65.

8 Кучанский А., Белошицкий А. “Метод выборочного сопоставления шаблонов для прогнозирования временных рядов” / *Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий*. 2015. – V. 6, – № 4(78) – стр. 13-18. doi: 10.15587/1729-4061.2015.54812

9 Берзлев А. “Метод прогнозирования приращений временных рядов” / *Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий*. 2013. – V. 2, – № 4(62) – с. 8-11.

10 Мулеса О., Гече Ф. “Разработка нечетких экспертных методов численной оценки объекта для задач прогнозирования” / *Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий*. 2016. – V. 3, – № 4(81) – с. 37-43.

11 Чон Вон Квон, Парк Ен Ман, Сан Чжун Ку, Хиесик Ким. ” Проектирование системы мониторинга загрязнения воздуха с использованием сетей ZigBee для повсеместного города ” / *Международная конференция 2007 года по конвергентным информационным технологиям*. 2007. – с. 1024-1031.

12 Васим К. Устад, Мали А. С., Сухас С. Кибиле. “Беспроводная система мониторинга загрязнения воздуха на основе Zigbee с использованием недорогих и энергоэффективных датчиков” / *Международный журнал инженерных тенденций и технологий*. 2014. – V. 10, – № 4 – с. 456-460.

REFERENCES

1 Gardner M., Dorling S.R. “Neural Network Modelling and Prediction of Hourly NOx and NO2 Concentrations in Urban Air in London” / *Atmospheric Environment*. 1999. – V. 5(33) – p.709-719.

2 Kolehmainen M., H. Martikainen H., Ruuskanen J. “Neural Networks and Periodic Components Used in Air Quality Forecasting” / *Atmospheric Environment*. 2001. – V. 5(35) – p.815-825.

3 Chi-Man Vong, Ip Weng-Fai, Wong Pak-Kin, Yang Jing-Yi. “Short-Term Prediction of Air Pollution in Macau Using Support Vector Machines” / *Journal of Control Science and Engineering* 2012. 2012 – p.1-11.

4 Goldin D.Q., Kanellakis P.C. “On Similarity Queries for Time-Series Data: Constraint Specification and Implementation” / 1995 1-st International Conference on the Principles and Practice of Constraint Programming: Cassis, France. 1995 – p.137–153.

5 Fernández-Rodríguez F., Sosvilla-Rivero S., Andrada-Félix J. “Nearest-neighbour predictions in foreign exchange markets” / *Fundacion de Estudios de Economia Aplicada*. 2002. – No. 5 – p. 1-36.

6 Perlin M.S. “Nearest neighbor method” / Revista Eletrônica de Administração. 2007. – V.13 (2) – p.1-15.

7 Singh S. “Pattern modeling in time-series forecasting” / Cybernetics and Systems. An International Journal. 2000. – V. 31, – No. 1 – p.49-65.

8 Kuchansky A., Biloshchytskyi A. “Selective pattern matching method for time-series forecasting” / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2015. – V.6, – No. 4(78) – p.13-18. doi: 10.15587/1729-4061.2015.54812

9 Berzlev A. “A method of increments sings forecasting of time series” / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2013. – V. 2, – No. 4(62) – p. 8-11.

10 Mulesa O., Geche F. “Designing fuzzy expert methods of numeric evaluation of an object for the problems of forecasting” / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. – V. 3, – No. 4(81) – p. 37-43.

11 Jong-Won Kwon, Yong-Man Park, Sang-Jun Koo, Hiesik Kim. “Design of air pollution monitoring wystem using ZigBee networks for ubiquitous-city” / 2007 International Conference on Convergence Information Technology. 2007. – p. 1024-1031.

12 Vasim K. Ustad, Mali A.S., Suhas S. Kibile. “Zigbee based wireless air pollution monitoring system using low cost and energy efficient sensors” / International Journal of Engineering Trends and Technology. 2014. – V. 10, – No. 4 – p. 456-460.

**А. А. БЕЛОЩИЦКИЙ^{1,2}, А. Ю. КУЧАНСКИЙ²,
Ю. В. АНДРАШКО³, Д. ЕДИЛХАН⁴, С. Н. ТОКСАНОВ⁴,
А.Р. ФАЙЗУЛЛИН⁵**

¹Astana IT University, Нұрсұлтан қ., Қазақстан

²Тарас Шевченко атындағы Киев ұлттық университеті, Киев қ., Украина

³Ужгород ұлттық университеті, Ужгород қ., Украина

⁴Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

⁵М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,
Петропавл қ., Қазақстан

SMART SYSTEM-дегі АУА ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІНІҢ УАҚЫТТЫ СЕРИЯЛАРЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН СЕЛЕКТИВТІ ЖӘНЕ ГИБРИДТІК ТҮРЛЕРДІҢ МОДЕЛДЕРІ

SMART SYSTEM-де ауаның ластану деңгейін болжау үшін уақыттық серияларды индекстеуі бар селективті және гибриді типтердің аралас модельдері әзірленді. Бұл модельдерде индекстеу таңдалған метрлік арақашықтықтары бар жақын көрші әдісіне негізделген. Сипатталған модельдер осы біріктірілген модельдердің базалық жиынтығына кіретін модельдермен салыстырғанда қысқа және орта мерзімді болжаудың жоғары дәлдігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Модельдер мен сәйкес әдістерді қоршаған ортаның жай-күйін бақылаудың ақылды жүйесін және жалпы экологиялық мониторингке арналған аппараттық-бағдарламалық кешендерді құру үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: болжамды біріктірілген модельдер; ауаның ластануы; экологиялық мониторинг.

**A.A. BILOSHCHYTSKYI^{1,2}, A.Y. KUCHANSKY², Y. V. ANDRASHKO³,
D.YEDILKHAN¹, S. N. TOXANOV⁴, A. R. FAIZULLIN⁵**

¹Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

³Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

⁴D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

⁵M.Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

MODELS OF SELECTIVE AND HYBRID TYPES FOR FORECASTING TIME SERIES OF AIR POLLUTION LEVEL IN SMART SYSTEM

Combined models of selective and hybrid types with time series indexing have been developed to predict the level of air pollution in the Smart System. Indexing in these models is based on the closest neighbour method with selected metric distances. The models described provide high short- and medium-term accuracy compared to the models included in the core set of these combined models. Models and corresponding methods can be used to build a Smart System for monitoring the state of the environment and hardware and software complexes for general environmental monitoring.

Keywords: *combined forecasting models; air pollution; environmental monitoring.*

**Ж. Е. ХУСАНОВ^{1*}, А. Д. ТЕВЯШЕВ², А. В. ПРОХОРОВ³, *А. Е. ХУСАНОВ¹,
В. П. ПРОХОРОВ², Б. М. КАЛДЫБАЕВА³**

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина

³Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»
г. Харьков, Украина

e-mail: zhakhangir@mail.ru, tevjashhev@kture.kharkov.ua, o.prokhorov@khai.edu,

*khusanov_1975@inbox.ru, valery.prokhorov@nure.ua, kaldybaeva.b@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Представлены теоретические результаты исследования для разработки информационно-аналитической системы контроля и управления электрохимической защитой от коррозии магистральных трубопроводов, проводимые в рамках грантового проекта МОН РК АР09261098. Приведены модели и методы решения задачи оперативного планирования режимов работы станции катодной защиты трубопроводов в условиях неполной информации и были получены оптимальные значения силы тока. Результаты будут использованы в системе анализа и оперативного управления режимами работы электрохимической защиты подземных трубопроводов с целью повышения эффективности работы и сокращения затрат на эксплуатацию. Эффективность моделей и методов иллюстрируется на примере участка газораспределительных сетей высокого давления.

Ключевые слова: стохастическая модель, метод имитационного моделирования, электрохимическая защита, подземный магистральный трубопровод, информационно-аналитическая система контроля, станция катодной защиты, мониторинг, коррозия.

Введение. Одной из главных задач подземных трубопроводных систем (ТПС) транспортировки нефти и газа (нефтетранспортной системы (НТС) и газотранспортной системы (ГТС)) Республики Казахстан является повышение долговечности и эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов (МТ) (магистральных нефтепроводов (МН) и магистральных газопроводов (МГ) с целью снижения аварийности на их объектах (объемов утечек транспортируемого продукта, предотвращения аварий, взрывов и т.п.).

Следовательно, долговечность и надежность трубопроводной системы находится в большой зависимости, порядка 27%, от ее защиты от коррозии. С другой стороны, система электрохимической защиты (ЭХЗ) МТ Республики Казахстан практически не автоматизирована. В связи с этим, комплексная автоматизация системы ЭХЗ является одним из важнейших направлений повышения долговечности и надежности ТПС.

Авторы [1] на численных примерах рассмотрели закономерности процессов ЭХЗ и задачи как проблемы токов в земле для сложных ТПС с неоднородными параметрами. В работах [2,3] рассмотрены актуальные вопросы обеспечения эффективной ЭХЗ и проблемы повышения эффективности систем защиты от коррозии подземных магистральных газопроводов. Большинство работ посвящено различным методам расчета основных параметров ЭХЗ, на основании таких исследований созданы справочники

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

для расчета параметров систем и средств ЭХЗ, нормативно-техническая документация и государственные стандарты [4-6].

Разработаны математические модели и алгоритмы расчета и оптимизации параметров ЭХЗ МТ с последующей программной их реализации [7,8]. Однако они не решают задачу комплексной автоматизации системы ЭХЗ МТ. В последнее время разработки направлены на автоматизацию процессов и задач системы ЭХЗ МТ. Так, известны различные телемеханические системы контроля и управления средствами ЭХЗ на основе контроллеров телеуправления с интегрированными модемами GSM/GPRS мобильной связи и других каналов связи с автоматизированным рабочим местом диспетчерского пункта [9-11].

В работе [9] описана автоматизированная система контроля и управления средствами электрохимической защиты на основе применения интеллектуальных информационных технологий. Данная автоматизированная система коррозионного мониторинга представляет собой систему распределенного типа, включающая в свой состав: автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчера и руководителей всех уровней системы ЭХЗ МТ, установки катодной защиты (УКЗ) со станциями катодной защиты (СКЗ), оснащенными телемеханическими средствами дистанционного контроля и управления средствами ЭХЗ и контрольно-измерительными пунктами (КИП), объединенные GSM/GPRS каналами мобильной связи. Впервые в данной автоматизированной системе [9] применена интеллектуальная информационная технология в виде экспертной системы поддержки принятия решений специалистами службы ЭХЗ.

В работе [12] рассмотрен стохастический подход к постановке и решению задачи оперативного планирования режима работы системы ЭХЗ подземных трубопроводов, а в [13] приведена система интегральных показателей качества и эффективности функционирования систем ЭХЗ подземных трубопроводов. В ряде работ, например, в [14] рассматриваются вопросы оптимизации режимов работы установок ЭХЗ, а также оптимизации защитных параметров всех СКЗ на заданных участках МТ [1,7-9], без которых невозможно построить эффективную систему ЭХЗ.

Методы исследования. Задачей данного исследования является разработка формализованной модели автоматизированного управления режимами функционирования систем ЭХЗ подземных МТ. Комплексный подход обеспечит учет максимального числа факторов и параметров, влияющих на повышение эффективности системы ЭХЗ МТ. Для реализации данного подхода и устранения указанных недостатков существующих систем ЭХЗ необходимо разработать информационно-аналитическую систему контроля и управления (ИАСКУ) электрохимической защитой от коррозии магистральных трубопроводов. ИАСКУ ЭХЗ, прежде всего, должна решать задачу непрерывного дистанционного контроля параметров электрохимической защиты и оперативного управления защитными параметрами средств ЭХЗ в режиме реального времени. При этом ИАСКУ ЭХЗ должна поддерживать технологический процесс ЭХЗ на оптимальном уровне между разрушительными зонами как «недозащит», так и «перезащит», что позволит снизить вредные последствия, вызываемые

существующими системами ЭХЗ. Комплексное использование средств ИСКУ ЭХЗ может продлить технический ресурс МТ на 5-10 лет и снизить их аварийность из-за коррозии.

Для решения проблемы защиты МТ от коррозии необходимо построить математическую модель процессов, которые происходят при применении электрохимической защиты. При этом возникают довольно существенные трудности. Они заключаются в том, что такие параметры системы, как сопротивление грунта и изоляции не являются детерминированными величинами. Значения ряда параметров в определённый момент времени, вообще-то говоря, неизвестны. Известен лишь закон, который позволяет оценить значение параметров. Все это приводит к тому, что при формализации проблемы необходимо использовать математические методы описания степени неопределенности исходных данных.

В качестве основных элементов системы ЭХЗ подземных трубопроводов используются СКЗ, которые обеспечивают необходимое значение защитного потенциала на всей протяженности защищаемого подземного трубопровода. В свою очередь, величина защитного потенциала «труба-земля» является случайной величиной, зависящей от многочисленных факторов, основными из которых являются: фактические режимы работы СКЗ; фактическое состояние изоляционного покрытия трубопровода в любой точке рассматриваемого участка в каждый момент времени и соответствующее ему переходное сопротивление изоляционного покрытия; фактическое значение сопротивления грунта вдоль трассы трубопровода. Это приводит к необходимости рассматривать систему ЭХЗ подземных трубопроводов как стохастическую систему, функционирующую в стохастической среде. Наиболее эффективным способом управления такими системами являются двухэтапные процедуры, включающие в себя решение двух задач:

- оперативное планирование режимов работы СКЗ на основании прогнозов (условных математических ожиданий) основных возмущающих факторов системы;
- стабилизация величины защитного потенциала после наблюдения фактических реализаций возмущающих факторов.

В данной работе приведены некоторые методы и модели решения задачи оперативного планирования режимов работы системы ЭХЗ, обеспечивающие решение задачи автоматизации режимов функционирования системы ЭХЗ с целью повышения ее эффективности.

Результаты и обсуждение. Для участка подземного трубопровода с подключенными к нему СКЗ разность потенциалов «труба-земля» в каждой точке на всей протяженности трубопровода для каждой СКЗ складывается из двух составляющих: положительного потенциала грунта $U_{cp}^i(x)$, создаваемого электрическим полем анодных заземлителей, и отрицательным потенциалом поверхности трубы $U_T^i(x)$, возникающим за счет протекания катодного тока вдоль трубопровода. Изолированный подземный трубопровод, защищаемый станциями катодной защиты, можно представить в виде протяженного электрического проводника постоянного тока с утечкой (Рис.1).

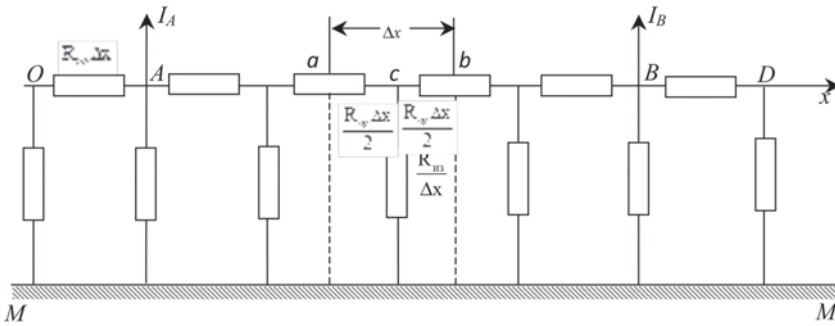


Рисунок 1 – Схема замещения протяженного проводника с утечкой

где величина R_{np} [Ом/м] – электрическое сопротивление единицы длины протяженного проводника с утечкой (удельное продольное сопротивление, погонное сопротивление);

$R_{из}$ [Ом · м] – переходное сопротивление утечке, характеризует электрическое сопротивление между отрезком протяженного проводника и соприкасающейся с ним средой.

При наличии какой угодно приложенной к протяженному проводнику нагрузки в любой точке x проводника имеем зависящие от координаты x , потенциал $U_T^i(x)$ и протекающий по проводнику ток i .

Рассмотрим приведенную на рис. 1 схему замещения протяженного проводника с утечкой. Пусть эта схема представлена в виде последовательно соединенных продольных элементов сопротивлений $R_{np} \Delta x$, к концам которых параллельно подключены элементы переходных сопротивлений $\frac{R_{из}}{\Delta x}$. Пусть, кроме этого, на участке OC имеется некоторый промежуток AB , внутри которого к протяженному проводнику не приложено никакой нагрузки. Ввиду того, что промежуток AB не загружен, ток i на всем этом промежутке не имеет разрыва, т.е. изменяется непрерывно.

Выделим на промежутке AB достаточно малый отрезок ab длиной Δx . Пусть начальная точка a отрезка ab имеет координату x . Следовательно, координата точки b есть $x + \Delta x$. К средней точке отрезка ab подключен один из элементов переходных сопротивлений $\frac{R_{из}}{\Delta x}$, в связи с чем между точками a и b включены по продольному элементу сопротивления, имеющие величину $\frac{R_{np} \Delta x}{2}$.

Пусть в точке a имеются потенциал U_T и ток i , протекающий от точки a к точке c , а в точке b – потенциал $U_T + \Delta U_T$ и ток $i + \Delta i$, протекающий от c к b , т.е. приращению Δx координаты x соответствуют приращения ΔU_T и Δi потенциала U_T и тока i . Если ток направлен слева направо, т.е. если он имеет положительный знак, то $U_T > U_T + \Delta U_T$ вследствие чего $\Delta U_T < 0$, т.е. приращение потенциала имеет отрицательный знак, т.е. знаки величин ΔU_T и i противоположны. Как видно из рис. 1, это падение напряжения равно:

$$-\Delta U_T = i \frac{R_{np} \Delta x}{2} + (i + \Delta i) \frac{R_{np} \Delta x}{2}, \tag{1.1}$$

где Δi представляет собой ток на участке $ab = \Delta x$ между отрезком проводника и эквипотенциальной поверхностью ММ, т.е. ток Δi есть приращение тока на участке Δx , которое будет положительным в случае его входа в отрезок Δx (ток подтекания) и отрицательным в случае его выхода из отрезка Δx (ток утечки).

Величина тока Δi определяется потенциалом U_{Tc} точки с и переходным сопротивлением $\frac{R_{uz}}{\Delta x}$, причем при положительном значении потенциала U_{Tc} приращение Δi будет отрицательным, а при отрицательном потенциале U_{Tc} приращение положительно.

$$U_{Tc} = U_T - i \frac{R_{np} \Delta x}{2}, \quad (1.2)$$

$$\Delta i = - \frac{U_{Tc}}{\frac{R_{uz}}{\Delta x}} = - \frac{U_T - i \frac{R_{np} \Delta x}{2}}{R_{uz}} \cdot \Delta x. \quad (1.3)$$

Таким образом, при известных значениях потенциала и тока в точке подключения СКЗ можно последовательно получить значения потенциала U_T и тока i в каждой точке рассматриваемого участка.

Представим уравнения (1.1) и (1.3) следующим образом:

$$\frac{\Delta U_T}{\Delta x} = -R_{np} i - \frac{R_{np}}{2} \Delta i, \quad (1.4)$$

$$\frac{\Delta i}{\Delta x} = - \frac{U_T}{R_{uz}} + \frac{R_{np} i}{2R_{uz}} \Delta x. \quad (1.5)$$

Если отрезок Δx неограниченно уменьшать, устремляя его к значению дифференциала dx координаты x , то приращения ΔU_T и Δi будут соответственно стремиться к дифференциалам dU_T и di . Вторые слагаемые правых частей уравнений (1.4) и (1.5) превратятся в величины высшего порядка малости по сравнению с первыми слагаемыми, а сами уравнения из конечно-разностных превратятся в дифференциальные.

Функция $U_T^i(x)$ – распределения отрицательного потенциала поверхности трубы каждой i -й СКЗ является решением системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dU_T^i(x)}{dx} + R_{np} i = 0, \quad (1.6)$$

$$\frac{di}{dx} + \frac{U_T^i(x)}{R_{uz}} = 0, \quad (1.7)$$

i – функция распределения значений силы тока.

Решение системы дифференциальных уравнений в общем виде:

$$U_T^i(x) = Ae^{x \cdot \sqrt{\frac{R_{np}}{R_{uz}}}} + Be^{-x \cdot \sqrt{\frac{R_{np}}{R_{uz}}}}, \quad (1.8)$$

$$i = -\frac{1}{\sqrt{R_{np} \cdot R_{uz}}} (Ae^{x \cdot \sqrt{\frac{R_{np}}{R_{uz}}}} - Be^{-x \cdot \sqrt{\frac{R_{np}}{R_{uz}}}}), \quad (1.9)$$

где коэффициент затухания α определяется выражением $\alpha = \sqrt{\frac{R_{np}}{R_{uz}}}$, а постоянные А и В определяются для каждого участка непрерывного изменения тока из условий на границах того же участка.

Значения положительного потенциала грунта $U_{zp}^i(x)$, создаваемого электрическим полем анодного заземления i -й СКЗ определяется выражением [13]:

$$U_{zp}^i(x) = \frac{I_i \rho_{zp}}{2\pi(b_i - a_i)} \cdot \ln \left(\frac{(x - a_i) + \sqrt{(x - a_i)^2 + y_i^A}}{(x - b_i) + \sqrt{(x - b_i)^2 + y_i^A}} \right), \quad (1.10)$$

где a_i, b_i, y_i^A – координаты расположения протяженного анодного заземления i -й СКЗ.

Функция распределения потенциала «труба-земля» U_{T-3} для n -СКЗ находится следующим образом:

$$U_{T-3}(x) = \sum_{i=1}^n U_T^i(x) - \sum_{i=1}^n U_{zp}^i(x). \quad (1.11)$$

Основными случайными величинами, влияющими на значение защитного потенциала «труба-земля» являются: фактическое состояние изоляционного покрытия трубопровода в точке x в момент времени t и соответствующее ему переходное сопротивление изоляционного покрытия, а также фактическое значение сопротивления грунта вдоль трассы трубопровода, зависящее от влажности почвы, ее состава, плотности, температуры и т.п.

Пусть $\langle \Omega, F, P \rangle$ вероятностное пространство, где Ω – пространство элементарных исходов, F – σ – алгебра подмножеств Ω , P – вероятностная мера на F . Определим параметры R_{uz} и ρ_{zp} как случайные величины на пространстве $\langle \Omega, F, P \rangle$: $\rho_{zp} = \rho_{zp}(\omega, t)$, $R_{uz} = R_{uz}(\omega, t)$, где $\omega \in \Omega$.

Как уже рассматривалось ранее, потенциал «труба-земля» в точке x представляет собой сумму потенциалов каждой СКЗ и является разницей отрицательного потенциала трубы и положительного потенциала грунта. Отрицательный потенциал трубы зависит от случайной величины сопротивления изоляции $U_T^i(x) = U_T^i(x, R_{uz}(\omega, t))$. Положительный потенциал грунта зависит от случайной величины удельного сопротивления грунта $U_{zp}^i(x) = U_{zp}^i(x, \rho_{zp}(\omega, t))$, таким образом, потенциал «труба-земля» также представляет собой случайную величину:

$$U_{T-3}(x, t, \omega) = \sum_{i=1}^n U_T^i(x, R_{uz}(\omega, t)) - \sum_{i=1}^n U_{zp}^i(x, \rho_{zp}(\omega, t)). \quad (1.12)$$

Для рассматриваемого однопроводного участка подземного трубопровода энергетические затраты на работу i -й СКЗ в момент времени $t \in [0, T]$ определяется мощностью по постоянному току на выходе преобразователя СКЗ $C_{эксн}$, [кВт · ч]:

$$C_{эксн} = P_i(t) \cdot t, \quad (1.13)$$

где мощность i -й СКЗ $P_i(t)$, [кВт] определяется выражением:

$$P_i(t) = U_{i_{np}}(t)I_i, \quad (1.14)$$

где $U_{i_{np}}(t) = I_i \cdot [R_{i_{л}} + R_{i_{аз}} + Z_i]$ – напряжение на выходе преобразователя i -й СКЗ [В] в момент времени t ; I_i – величина силы тока на выходе i -й СКЗ [А] в момент времени t ; $R_{i_{л}}$ – сопротивление соединительных линий i -й СКЗ [Ом]; $R_{i_{аз}}$ – сопротивление анодного заземления i -й СКЗ [Ом]; $z_i = \sqrt{R_{i_{np}} \cdot R_{i_{уз}} \cdot (\pi D)^{-1}}$ – характеристическое сопротивление трубопровода [Ом]; $R_{i_{np}}$ – продольное сопротивление подземного трубопровода, [Ом/м] на участке $[x_{i-1}, x_i]$; $R_{i_{уз}}$ – среднее значение переходного сопротивления изоляционного покрытия, [Ом · м²] на участке $[x_{i-1}, x_i]$.

Переходное сопротивление изоляции является случайной величиной $R_{i_{уз}} = R_{i_{уз}}(t, \omega)$, следовательно, и характеристическое сопротивление трубопровода представляет собой также случайную величину $z_i = z_i(t, \omega)$.

Как следует из (1.14) мощность i -й СКЗ P_i является в этом случае функцией от случайной величины $z_i(t, \omega)$ и, в свою очередь, также будет случайной величиной, т.е.

$$P_i(t, \omega) = I_i^2 [R_{i_{л}} + R_{i_{аз}} + z_i(t, \omega)] . \quad (1.15)$$

В этом случае в качестве интегрального показателя оптимизации работы i -й СКЗ на интервалах времени $[0, T]$ будем использовать выражение

$$J_i(T, \omega) = \int_0^T P_i(t, \omega) dt = \int_0^T I_i^2 [R_{i_{л}} + R_{i_{аз}} + z_i(t, \omega)] dt . \quad (1.16)$$

Численное значение $J_i(T, \omega)$ характеризует суммарные затраты мощности i -й СКЗ на интервале времени $[0, T]$ и как следует из (1.16) является случайной величиной.

Так как $J_i(T, \omega)$ – случайная величина, то для получения операционной системы интегральных показателей эффективности функционирования i -й СКЗ необходимо использовать ее математическое ожидание.

Задача оперативного планирования режимов работы СКЗ в стохастической постановке будет иметь вид следующей целевой функции:

$$M \sum_{i=1}^n J_i(T, \omega) \rightarrow \min_{I \in G} \quad (1.17)$$

После подстановки выражения для вычисления затрат мощности i -й СКЗ (1.16) и выражения характеристического сопротивления участка трубопровода целевая функция задачи будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^n M_{\omega} \left\{ \int_0^T I_i^2 [R_{il} + R_{iaz} + \sqrt{R_{inp} \cdot R_{iuz}(\omega) \cdot (\pi D)^{-1}}] t dt \right\} \rightarrow \min_{I \in G} \quad (1.18)$$

После вычисления определенного интеграла выражение (1.18) можно представить в виде:

$$\sum_{i=1}^n M_{\omega} \left\{ I_i^2 [R_{il} + R_{iaz} + \sqrt{R_{inp} \cdot R_{iuz}(\omega) \cdot (\pi D)^{-1}}] \frac{T^2}{2} \right\} \rightarrow \min_{I \in G} \quad (1.19)$$

Для получения математического ожидания случайной величины воспользуемся неравенством Йенсена. Для нелинейной функции $f(x, \eta(\omega))$ и случайной величины $\eta(\omega)$ имеет место неравенство Йенсена:

$$M_{\omega} f(x, \eta(\omega)) \geq f(M_{\omega} f(x, \eta(\omega))) ,$$

если функция $f(x, \eta(\omega))$ выпукла, и если функция $f(x, \eta(\omega))$ вогнута:

$$M_{\omega} f(x, \eta(\omega)) \leq f(M_{\omega} f(x, \eta(\omega))) ,$$

Построим график зависимости функции затрат мощности i -й СКЗ (1.16) от значения случайной величины $R_{iuz}(\omega)$ (рис. 2).

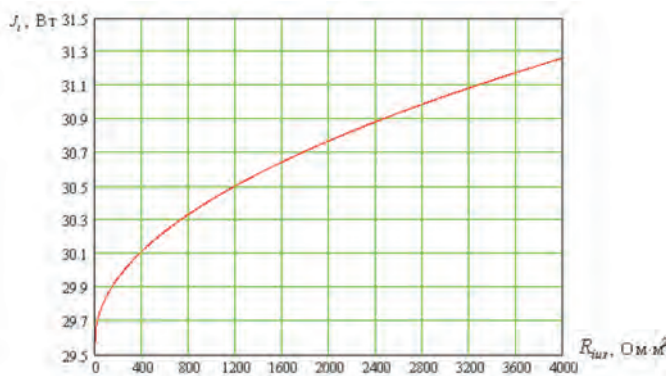


Рисунок 2 – График зависимости функции затрат мощности i -й СКЗ от значения случайной величины $R_{iuz}(\omega)$

Из графика зависимости видно, что функция, определяющая затраты при эксплуатации СКЗ вогнута, т.е. имеет место неравенство:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n M_{\omega} \left\{ I_i^2 [R_{il} + R_{iaz} + \sqrt{R_{inp} \cdot R_{iuz}(\omega) \cdot (\pi D)^{-1}}] \frac{T^2}{2} \right\} &\leq \\ &\leq \sum_{i=1}^n \left(I_i^2 [R_{il} + R_{iaz} + \sqrt{R_{inp} \cdot R_{iuz} \cdot (\pi D)^{-1}}] \frac{T^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (1.20)$$

Таким образом, оценка затрат при эксплуатации СКЗ, полученная в результате решения задачи стохастического программирования будет больше реальных затрат.

Результаты решения задачи иллюстрируется на примере участка газораспределительных сетей высокого давления: длина участка 41510 м; количество СКЗ – 5; координаты расположения СКЗ от начала участка: 2000 м., 13690 м., 20900 м., 30063 м., 39513 м. на участке имеется трубопровод различного диаметра: [0, 19950] $D = 0,529$ м.; [19950, 30050] $D = 0,020$ м.; [30050, 41510] $D = 0,720$ м.; – изоляционное покрытие – заводское напыленное полимерное усиленного типа, среднее значение переходного сопротивления изоляции $R_{из} = 5 \cdot 10^3$ [Ом · м²]; продольное сопротивление трубопровода $R_{np} = 6,6 \cdot 10^{-6}$ [Ом/м]; сопротивление анодного заземления СКЗ $R_{аз} = 1,37$ [Ом]; сопротивление соединительных линий СКЗ $R_{л} = 0,23$ [Ом]; среднее удельное сопротивление грунта по трассе составляет $\rho_{сп} = 40$ [Ом · м]; анодное заземление – несмещенное, т.е. $a_i = x_i^к - 100$ [м], $b_i = x_i^к + 100$ [м] $i = 1..5$; длина цепочки анодного заземления $L_i^A = 200$ [м] $i = 1..5$; расстояние до анодного заземления $y_i^A = 220$ [м] $i = 1..5$; максимальная сила тока на выходе СКЗ 12.5 А; $U_{min} = -0,85$ – минимальный защитный потенциал [В]; $U_{max} = -1,15$ – максимальный защитный потенциал [В].

Результатом решения задачи является оптимальное значение силы тока СКЗ на заданный период времени. Для описанных исходных данных получили такие значения силы тока СКЗ: $Iskz[1] = 7.032A$, $Iskz[2] = 6.790A$, $Iskz[3] = 7.154 A$, $Iskz[4] = 6.650A$, $Iskz[5] = 6.287A$.

На рис.3а показана распределение защитного потенциала «труба-земля» для полученных значений силы тока СКЗ трубопровода. На рис.3б изображены графики распределения потенциала «труба-земля» для оптимальных значений силы тока СКЗ при различных реализациях случайных величин сопротивления изоляции и удельного сопротивления грунта. В результате решения задачи оперативного планирования режима работы системы ЭХЗ были получены оптимальные значения силы тока СКЗ, в условиях неполной информации о сопротивлении изоляционного покрытия трубопровода и удельного сопротивления грунта, показана эффективность решения данной задачи.

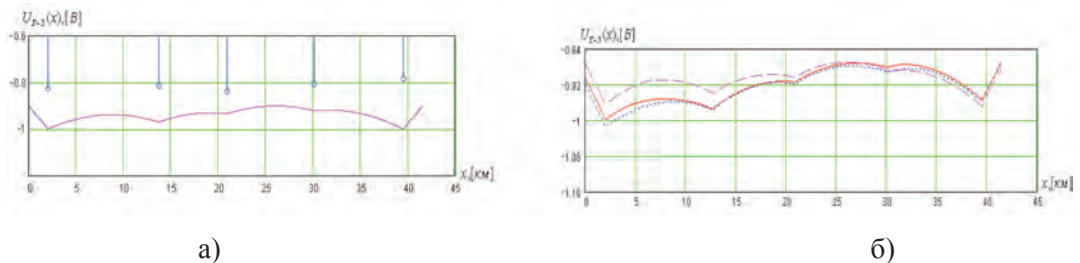


Рисунок 3 – а) график распределения потенциала «труба-земля» для оптимальных значений силы тока СКЗ; б) распределения потенциала «труба-земля» для оптимальных значений силы тока СКЗ при различных реализациях случайных величин

Заключение. Для создания телеметрических, информационно-аналитических и автоматизированных систем необходимы математические модели описания техно-

логического процесса ЭХЗ. В работе предложены стохастические модели и методы решения задачи оперативного планирования режимов работы СКЗ трубопроводов в условиях неполной информации при решении задачи минимизации затрат на эксплуатацию системы ЭХЗ. В результате экспериментальных исследований решения задачи оперативного планирования режима работы системы ЭХЗ были получены оптимальные значения силы тока СКЗ в условиях неполной информации о сопротивлении изоляционного покрытия трубопровода и удельного сопротивления грунта, а также показана эффективность разработанных моделей для решения данной задачи. Результаты решения задачи могут быть использованы в системе анализа и оперативного управления режимами работы системой ЭХЗ подземных трубопроводов при разработке ИА-СКУ ЭХЗ от коррозии МТ с целью повышения эффективности работы и сокращения затрат на эксплуатацию систем ЭХЗ подземных трубопроводов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводов.– Волгоград: НП ИПД «Авторское перо», 2005. – 235 с.
- 2 Воробьев А.Н. Актуальные вопросы обеспечения эффективной противокоррозионной защиты объектов ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» // Коррозия территории «НЕФТЕГАЗ». – 2014. – №3. – С. 66-70.
- 3 Запевалов Д. Н. Повышение эффективности систем защиты от коррозии подземных магистральных газопроводов // Газовая промышленность. – 2015. – №2 (724). – С. 67-70.
- 4 Глазков В. И., Зиневич А.М., Котик В.Г. и др. Защита от коррозии протяженных металлических сооружений // Справочник. – М.: Стройиздат, 1990.–303 с.
- 5 ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
- 6 ГОСТ 9.602-2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
- 7 Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., Тевяшев А.Д. и др. Трубопроводные системы энергетики: методические и прикладные проблемы математического моделирования. – Новосибирск: Наука, 2015. – 476 с.
- 8 Nocedal J., S. J. Wright. Numerical optimization.- Springer. – 1999. – 634 p.
- 9 Крохмаль А.Е., Прохоров В.П., Береза А.С., Прохоров А.В. Автоматизированная система контроля и управления средствами электрохимической защиты на основе интеллектуальных информационных технологий // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития: 2-й Международный радиоэлектронный Форум МРФ-2005: сб. науч. трудов. – Том I. – Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ. 2005. – с.95-98.
- 10 Балаба К.В., Балахонцев В. Е., Юнусов А. Р. Телемеханическая система контроля и управления станциями катодной защиты // Патент RU 101545 U1 G05B 19/00, опубликован: 20.01.2011, бюл. №2.-2 с.
- 11 Крючков Н.М., Баранов Б.А., Владимиров В.А., Фридман И.С. Телемеханическая система контроля и управления установками катодной защиты магистральных газопроводов // Патент RU 2540847 C2 U1 G05B 19/00, C23F 13/02: опубл. 10.02.2015, бюл. № 4.-10с.
- 12 Тевяшев А.Д., Ткаченко В.Ф., Попов А.В., Стрижак Л.В. Стохастический подход к постановке и решению задачи оперативного планирования режима работы системы электрохимической защиты подземных трубопроводов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 3/2(15). – С. 94-98.

13 Теvяшев А.Д., Ткаченко В.Ф., Попов А.В. Система интегральных показателей качества и эффективности функционирования систем электрохимзащиты подземных трубопроводов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 1/2(19). – С. 21-26.

14 Никулин С.А., Карнаvский Е.Л. Оптимизация режимов установок электрохимической защиты // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – №3 (57). – С. 64-68.

REFERENCES

1 Tkachenko V.N. Elektrokhimicheskaya zashchita truboprovodov.– Volgograd: NP IPD «Avtorskoye pero». 2005. – 235 s.[Tkachenko V.N. Elektrokhimicheskaya zashchita truboprovodov.– Volgograd: NP IPD «Avtorskoye pero». 2005. – 235 s.]

2 Vorobyev A.N. Aktualnyye voprosy obespecheniya effektivnoy protivokorroziionnoy zashchity obyektov OOO «Gazprom transgaz Nizhniy Novgorod» // Korroziya territorii «NEFTEGAZ». – 2014. – №3. – S. 66-70.[Vorob'ev A.N. Aktual'nye voprosy obespecheniya effektivnoy protivokorroziionnoy zashchity ob"ektov OOO «Gazprom transgaz Nizhniy Novgorod» // Korroziya territorii «NEFTEGAZ». – 2014. – №3. – S. 66-70.]

3 Zapevalov D. N. Povysheniye effektivnosti sistem zashchity ot korrozii podzemnykh magistralnykh gazoprovodov // Gazovaya promyshlennost. – 2015. – №2 (724). – S. 67-70.[Zapevalov D. N. Povysheniye effektivnosti sistem zashchity ot korrozii podzemnykh magistral'nykh gazoprovodov // Gazovaya promyshlennost'. – 2015. – №2 (724). – S. 67-70.]

4 Glazkov V. I., Zinevich A.M., Kotik V.G. i dr. Zashchita ot korrozii protyazhennykh metallicheskih sooruzheniy // Spravochnik. – M.: Stroyizdat. 1990.–303 s.[Glazkov V. I., Zinevich A.M., Kotik V.G. i dr. Zashchita ot korrozii protyazhennykh metallicheskih sooruzhenij // Spravochnik. – M.: Strojizdat. 1990.–303 s.]

5 GOST R 51164-98. Truboprovody stalnyye magistralnyye. Obshchiye trebovaniya k zashchite ot korrozii. [GOST R 51164-98. Truboprovody stal'nye magistral'nye. Obshchie trebovaniya k zashchite ot korrozii.]

6 GOST 9.602-2016. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Sooruzheniya podzemnyye. Obshchiye trebovaniya k zashchite ot korrozii. [GOST 9.602-2016. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Sooruzheniya podzemnyye. Obshchie trebovaniya k zashchite ot korrozii.]

7 Novitskiy N.N., Sukharev M.G., Tevyashev A.D. i dr. Truboprovodnyye sistemy energetiki: metodicheskiye i prikladnyye problemy matematicheskogo modelirovaniya. – Novosibirsk: Nauka. 2015. – 476 s.[Novitskiy N.N., Suharev M.G., Tevyashev A.D. i dr. Truboprovodnyye sistemy energetiki: metodicheskie i prikladnye problemy matematicheskogo modelirovaniya. – Novosibirsk: Nauka. 2015. – 476 s.]

8 Nocedal J., S. J. Wright. Numerikal optimization.- Springer. – 1999. – 634 p.

9 Krokhmal A.E., Prokhorov V.P., Bereza A.S., Prokhorov A.V. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya i upravleniya sredstvami elektrokhimicheskoy zashchity na osnove intellektualnykh informatsionnykh tekhnologiy // Prikladnaya radioelektronika. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya: 2-y Mezhdunarodnyy radioelektronnyy Forum MRF-2005: sb. nauch. trudov. – Tom I. – Kharkov: AN PRE. KhNURE. 2005. – s.95-98. [Krokhmal' A.E., Prohorov V.P., Bereza A.S., Prohorov A.V. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya i upravleniya sredstvami elektrokhimicheskoy zashchity na osnove intellektual'nykh informatsionnykh tekhnologiy // Prikladnaya radioelektronika. Sostoyanie i perspektivy razvitiya: 2-j Mezhdunarodnyy radioelektronnyy Forum MRF-2005: sb. nauch. trudov. – Tom I. – Har'kov: AN PRE. HNURE. 2005. – s.95-98.]

10 Balaba K.V., Balakhontsev V. E., Yunusov A. R. Telemekhanicheskaya sistema kontrolya i upravleniya stantsiyami katodnoy zashchity // Patent RU 101545 U1 G05B 19/00. opublikovan:

20.01.2011. byul. №2.-2 s. [Balaba K.V., Balahoncev V. E., YUnusov A. R. Telemekhanicheskaya sistema kontrolya i upravleniya stanciyami katodnoj zashchity // Patent RU 101545 U1 G05B 19/00. opublikovan: 20.01.2011. byul. №2.-2 s.]

11 Kryuchkov N.M., Baranov B.A., Vladimirov V.A., Fridman I.S. Telemekhanicheskaya sistema kontrolya i upravleniya ustanovkami katodnoy zashchity magistralnykh gazoprovodov // Patent RU 2540847 C2 U1 G05B 19/00. C23F 13/02: opubl. 10.02.2015. byul. № 4.-10c. [Kryuchkov N.M., Baranov B.A., Vladimirov V.A., Fridman I.S. Telemekhanicheskaya sistema kontrolya i upravleniya ustanovkami katodnoj zashchity magistral'nyh gazoprovodov // Patent RU 2540847 C2 U1 G05B 19/00. C23F 13/02: opubl. 10.02.2015. byul. № 4.-10c.]

12 Tevyashev A.D., Tkachenko V.F., Popov A.V., Strizhak L.V. Stokhasticheskiy podkhod k postanovke i resheniyu zadachi operativnogo planirovaniya rezhima raboty sistemy elektrokhimicheskoy zashchity podzemnykh truboprovodov // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – 2005. – № 3/2(15). – S. 94-98. [Tevyashev A.D., Tkachenko V.F., Popov A.V., Strizhak L.V. Stokhasticheskiy podkhod k postanovke i resheniyu zadachi operativnogo planirovaniya rezhima raboty sistemy elektrokhimicheskoy zashchity podzemnykh truboprovodov // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologij. – 2005. – № 3/2(15). – S. 94-98.]

13 Tevyashev A.D., Tkachenko V.F., Popov A.V. Sistema integralnykh pokazateley kachestva i effektivnosti funkcionirovaniya sistem elektrokhimzashchity podzemnykh truboprovodov // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – 2006. – № 1/2(19). – S. 21-26. [Tevyashev A.D., Tkachenko V.F., Popov A.V. Sistema integral'nyh pokazateley kachestva i effektivnosti funkcionirovaniya sistem elektrokhimzashchity podzemnykh truboprovodov // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologij. – 2006. – № 1/2(19). – S. 21-26.]

14 Nikulin S.A., Karnavskiy E.L. Optimizatsiya rezhimov ustanovok elektrokhimicheskoy zashchity // Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii. – 2014. – №3 (57). – S. 64-68. [Nikulin S.A., Karnavskiy E.L. Optimizatsiya rezhimov ustanovok elektrokhimicheskoy zashchity // Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii. – 2014. – №3 (57). – S. 64-68.]

**Ж. Е. ХУСАНОВ¹, А. Д. ТЕВЯШЕВ², А. В. ПРОХОРОВ³, *А. Е. ХУСАНОВ¹,
В. П. ПРОХОРОВ², Б. М. КАЛДЫБАЕВА³**

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

²Харьков ұлттық радиоэлектроника университеті, Харьков қ., Украина

³Н. Е. Жуковский атындағы Ұлттық аэроғарыш университеті. "ХАИ" Харьков, Украина
e-mail: zhakhangir@mail.ru, tevyashev@kture.kharkov.ua, o.prokhorov@khai.edu,

*khusanov_1975@inbox.ru, valery.prokhorov@nure.ua, kaldybaeva.b@mail.ru

ЖЕРАСТЫ ҚҰБЫРЛАРЫН ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚОРҒАУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ РЕЖИМДЕРІН ЖЕДЕЛ ЖОСПАРЛАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІ МЕН МОДЕЛЬДЕРІ

ҚРБҒМАР09261098 гранттық жобасы аясында жүргізілген ғылыми зерттеу жұмыстарының негізінде магистральдық құбырлардың коррозиясынан электрохимиялық қорғауды бақылау және басқарудың ақпараттық-аналитикалық жүйесін әзірлеу үшін зерттеудің теориялық нәтижелері ұсынылған. Толық емес ақпарат жағдайында құбырларды катодтық қорғау станциясының жұмыс режимдерін Жедел жоспарлау мәселесін шешудің модельдері мен әдістері келтірілген және токтың оңтайлы мәндері алынған. Нәтижелер жұмыс тиімділігін арттыру және пайдалану шығындарын қысқарту мақсатында жерасты құбырларын электрохимиялық қорғаудың

жұмыс режимдерін талдау және жедел басқару жүйесінде пайдаланылатын болады. Модельдер мен әдістердің тиімділігі жоғары қысымды газ тарату желілерінің мысалында суреттелген.

Түйін сөздер: стохастикалық модель, имитациялық модельдеу әдісі, электрохимиялық қорғау, жерасты магистральдық құбыр, ақпараттық-аналитикалық бақылау жүйесі, катодты қорғау станциясы, мониторинг, коррозия.

**ZH. E. KHUSSANOV¹, A. D. TEVYASHEV², A. V. PROKHOROV³,
A. E. KHUSSANOV¹, V. P. PROKHOROV², B. M. KALDYBAYEVA¹**

¹*M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

²*Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine*

³*N. E. Zhukovsky National Aerospace University "KHAI" Kharkiv, Ukraine*
e-mail: zhakhangir@mail.ru, tevjashev@kture.kharkov.ua, o.prokhorov@khai.edu,

**khusanov_1975@inbox.ru, valery.prokhorov@nure.ua, kaldybaeva.b@mail.ru*

MATHEMATICAL METHODS AND MODELS OF OPERATIONAL PLANNING OF OPERATING MODES OF ELECTROCHEMICAL PROTECTION SYSTEMS OF UNDERGROUND PIPELINES

The theoretical results of the research for the development of an information and analytical system for monitoring and controlling electrochemical corrosion protection of main pipelines, carried out within the framework of the grant project of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan AP09261098, are presented. Models and methods for solving the problem of operational planning of the modes of operation of the cathodic protection station of pipelines in conditions of incomplete information are presented and optimal values of the current strength were obtained. The results will be used in the system of analysis and operational management of the modes of operation of electrochemical protection of underground pipelines in order to increase the efficiency of operation and reduce operating costs. The effectiveness of models and methods is illustrated by the example of a section of high-pressure gas distribution networks.

Keywords: *stochastic model, simulation method, electrochemical protection, underground main pipeline, information and analytical control system, cathodic protection station, monitoring, corrosion.*

УДК: 621.833.2

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.96>

**С. М. АХМЕТОВ*, М. Т. УСЕРБАЕВ, Н. М. АХМЕТОВ,
Ж. У. ИКЛАСОВА, Ж.К. ЗАЙДЕМОВА**

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСМИССИИ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Предложены алгоритмы и подпрограммы для оптимального проектирования трансмиссии лебедок буровых установок (БУ). В целях разработки объединенной программы определения параметров подъемного комплекса (ПК) БУ была создана блок-схема для построения характеристики ПК и определения точек, соответствующих расчетным режимам его работы. Исходя из проведенных исследований кинематики с учетом рационального использования мощности силовых агрегатов, разработан метод разбиения передаточных отношений трансмиссии ПК БУ. Это способствовало определению оптимальной области существования рабочих элементов трансмиссии. Таким образом, на основе созданных методов и математических моделей разработаны алгоритмы и программы для оптимального проектирования трансмиссии подъемного комплекса, ориентированные на применение компьютерных вычислений.

Ключевые слова: трансмиссия, силовые агрегаты, подъемный комплекс, метод разбиения, блок-схема, алгоритмы, программы, оптимальное проектирование.

При оптимальном проектировании трансмиссии подъемного комплекса (ПК) буровых установок (БУ), проводимом с применением методов компьютерных вычислений, необходимо знать нагрузки, действующие на различные подсистемы трансмиссии. В целях решения данной задачи по методике, изложенной ранее в работах [1, 2], нами предложены алгоритмы и подпрограммы для оптимального проектирования трансмиссии.

Анализ современных публикаций в области автоматизации проектирования показывает тенденцию, где в основном идет процесс разработки различных приложений для промышленной автоматизации процесса проектирования, которые позволяют интегрировать устройства ввода и вывода, таких как датчики и исполнительные механизмы, выполняемых в лабораториях по объединению и построению логики. Большое предпочтение стали отдаваться применению цифровой обработки геометрии изготавливаемых деталей при помощи лазерного 3D-сканирования на большие расстояния [3, 4].

В нашем случае объединенная программа определения параметров ПК включает две подпрограммы. Подпрограмма А – для кинематического и силового анализа механических трансмиссий с постоянным и переменным передаточным отношением (рис.

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

1). Подпрограмма может работать как самостоятельно, так и совместно с другими программами. По ней можно анализировать трансмиссии с числом скоростей до 6, числом пар до 30 и числом приводных двигателей до 4-х.

Поясняем суть и назначение некоторых элементов, показанных в блок-схеме подпрограммы *A* (рис. 1).

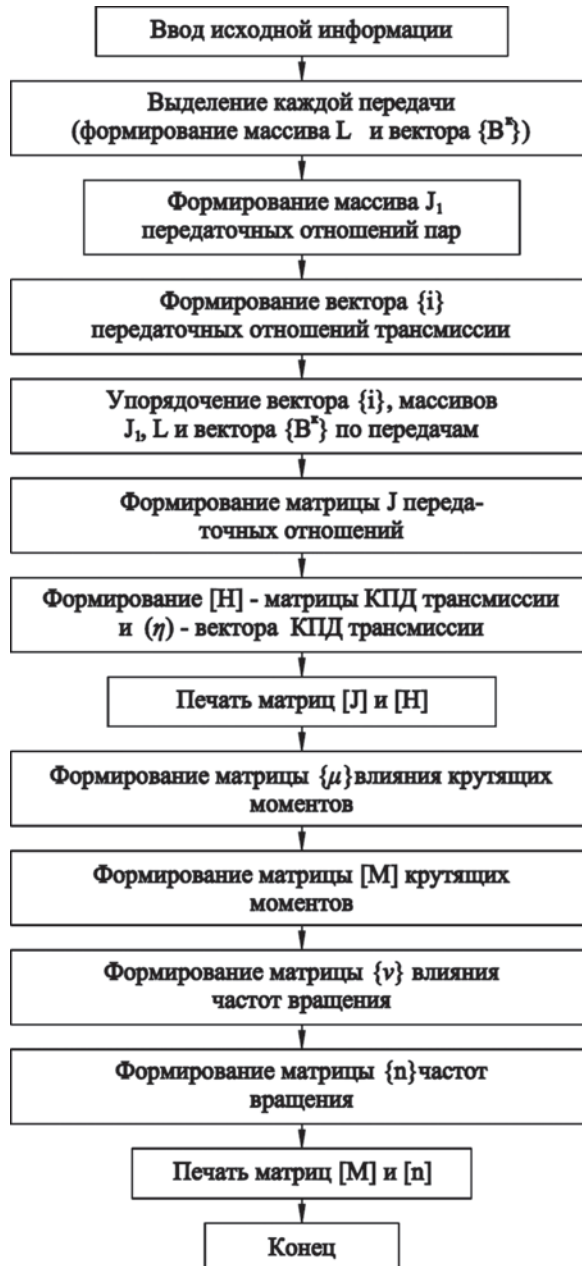


Рисунок 1 – Блок-схема подпрограммы *A* для кинематического и силового анализа трансмиссий с постоянным и переменным передаточным отношением

Массив (элемент) L представляет совокупность $\{L^k\}$ векторов, каждый из которых в свою очередь состоит из B^k координат (B^k является k -й координатной вектора $\{B\}$). Таким образом, элемент l_s^K вектора $\{L^k\}$ представляет собой пару, входящую в k -ю передачу и имеющую в этой передаче порядковый номер S . Структура же массива J_1 аналогична структуре L . Элемент i_s^K этого массива представляет передаточное отношение той кинематической пары, номер которой в массиве L равен l_s^K .

Подпрограмма анализа характеристики подъемного механизма, включенная в объединенную программу, предназначена для построения характеристики всего ПК и определения точек, соответствующих расчетным режимам его работы.

Блок-схема объединенной программы показана на рис. 2. В начале работает подпрограмма A . Вычислив число передач, векторы $\{i\}$ и $\{\eta\}$, она пересылает их в соответствующие ячейки подпрограммы B . Последняя включается в работу и вычисляет все предусмотренные в ней параметры, а найденные векторы $\{M\}$ и $\{n\}$ засылает в соответствующие ячейки программы A . После этого опять начинает работать программа A , вычисляя остальные параметры и т.д.

При проектировании оптимальной трансмиссии сначала необходимо определить передаточные отношения на каждой передаче. После этого, с учетом особенностей и требований кинематики, прочности, выносливости и конструктивных ограничений, на основе методов дискретного программирования определяем параметры, необходимые для ее проектирования.

В БУ в основном применяются четырех- и шестиступенчатые трансмиссии подъемного механизма [5, 6]. В соответствии с действующими правилами регламентированы два режима скорости: первая используется при ликвидации аварий в пределах (0,1...0,2) м/с; вторая – при подъеме незагруженного элеватора в установившемся режиме движения, значение которой составляет не менее 1,5 м/с [3].

С другой стороны, если учесть, что исходя из практики эксплуатации скорость подъема бурильной колонны максимальной массы должна составлять около 0,4 м/с, то для четырехскоростной трансмиссии очевидно, что определению подлежит лишь одна скорость, а для шестискоростной – три.

В случае проектирования цепных передач трансмиссии БУ важной задачей является определение зоны допустимых значений главных проектных параметров, например, передаточного отношения и числа зубьев звездочек.

Построенная нами область существования цепной передачи показана на рис. 3. Если данная цепь работает при нескольких передачах, то область ее существования G является пересечением областей G_k существования ее на каждой передаче:

$$G = G_1 \cap G_2 \dots \cap G_k \dots$$

Проектирование трансмиссии следует начинать с передачи между p -м (подъемным) и следующим за ним $(p-1)$ -м валом. При этом нужно учитывать, что для минимизации массы и габаритов всей трансмиссии наибольшие передаточные отношения желательно реализовать цепными передачами, расположенными ближе к подъемному валу.

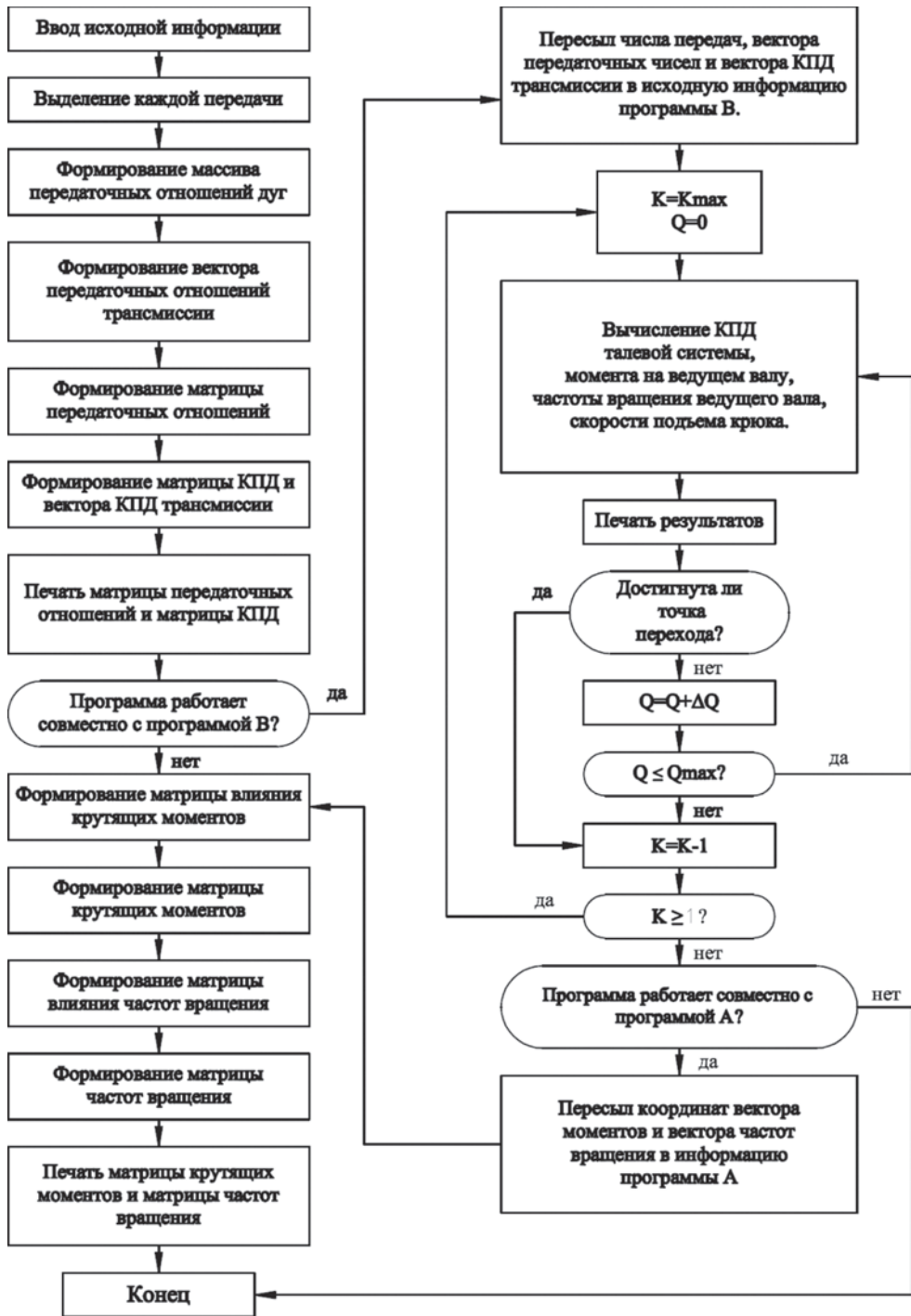


Рисунок 2 – Блок-схема объединенной программы для построения характеристики подъемного комплекса и определения точек, соответствующих расчетным режимам его работы

Исходя из вышеназванных требований, можно анализировать область существования проектируемой цепной передачи и находить максимальное допустимое значение передаточного отношения. Определив затем оставшиеся передаточные отношения, перейдем к проектированию передач между $(p-1)$ -м и $(p-2)$ -м валами и т.д. По данному алгоритму составлена программа оптимального проектирования цепной трансмиссии ПК БУ, блок-схема которой показана на рис. 4.

В качестве исходной программа использует информацию: о структурной схеме трансмиссии, задаваемой сокращенной матрицей; о внешней характеристике двигателей, задаваемой в виде кусочно-линейной функции; ориентировочные значения межцентровых расстояний; а также условия внешней среды, в виде значений внешних параметров, определяемых условиями эксплуатации и нормативными документами (допускаемая нагрузка на крюке, глубина скважины, максимальная и минимальная скорости подъема крюка, желаемая долговечность передач и т.п.).

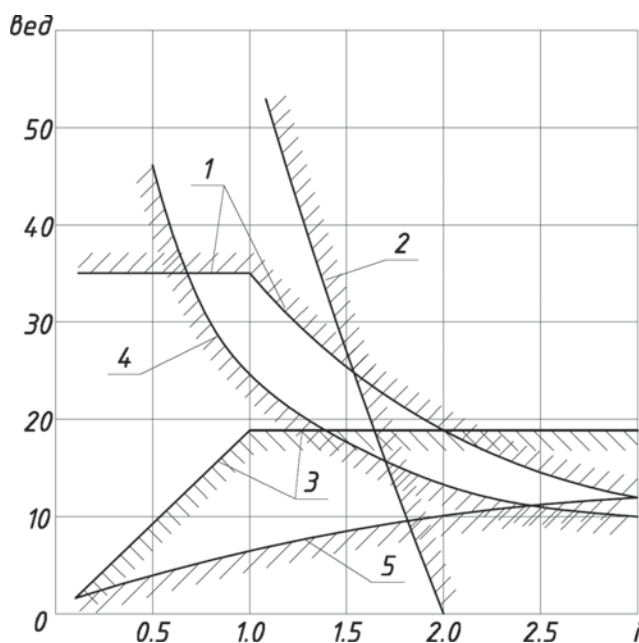


Рисунок 3 – К определению оптимальной области существования рабочих элементов трансмиссии:

- 1 - ограничение по максимальному диаметру малой звездочки; 2 - ограничение по оборотам холостого хода; 3 - ограничение по шагу цепи; 4 - ограничение по выносливости пластин цепи; 5 - обличение по выносливости роликов цепи

В результате расчета выдаются все необходимые параметры режима работы передач (типы и рядность цепей, числа зубьев звездочек), характеристика спроектированного подъемного комплекса (грузоподъемности и скорости подъема крюка на каждой передаче), данные необходимые для дальнейшего проектирования – крутящие моменты и частоты вращения на всех валах.

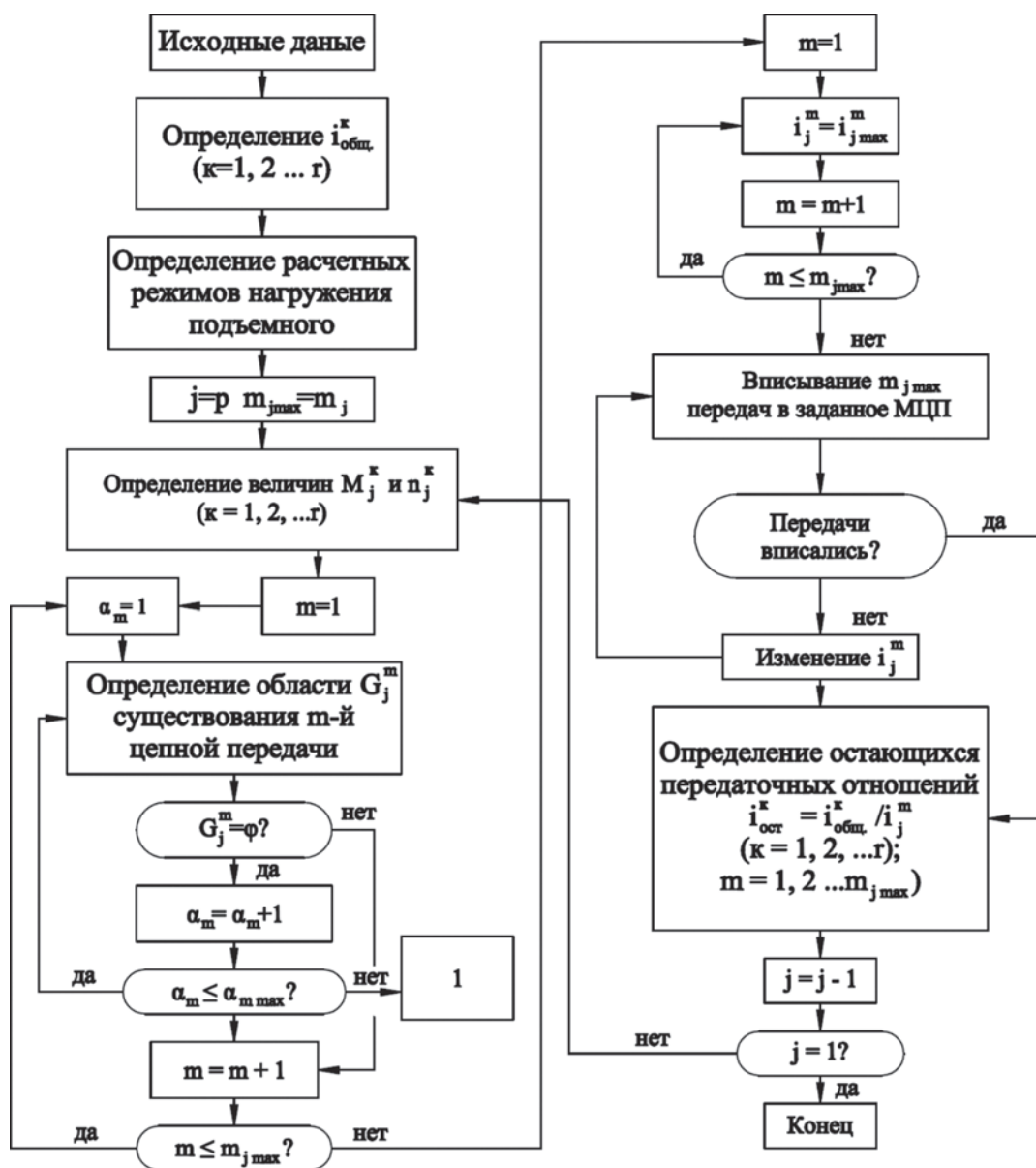


Рисунок 4 – Блок схемы программы оптимального проектирования цепной трансмиссии буровой установки

Выводы. 1. Исходя из проведенных исследований кинематики с учетом рационального использования мощности силовых агрегатов разработан метод разбиения передаточных отношений трансмиссии подъемного комплекса лебедки.

2. На основе созданных методов и математических моделей разработаны алгоритмы и программы для оптимального проектирования трансмиссии подъемного комплекса, ориентированные на применение компьютерных вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ахметов С.М., Ахметов Н.М., Усербаев М.Т. Методика оптимизации параметров силовых зубчатых передач с переменными передаточными отношениями // Вестник НИА РК. – 2020. – №1(75). – С.: 22-29
- 2 Айтимов А.С., Ахметов С.М., Ахметов Н.М.. Методика расчета параметров трансмиссии с групповым приводом // Вестник НИА РК. – 2020. – №1(75). – С.: 10-17
- 3 Dusarlapudi K., Narasimha K. Raju, Allaparapu S., Vishnu P., Sai Sree, Kishore K., Kumar. Hardware simulation platform for Industrial Automation applications // International Journal of Future Generation Communication and Networking, 2021. Vol. 14. No. 1. PP. 107-117
- 4 Hiroaki D., Tomohiro M., Kiichiro I. Digital Geometry Processing for Large-Scale Structures and Environments // International Journal of Automation Technology, 2021. Vol.15. No.3, PP. 257
- 5 [Samohvalov M.A., Montaj i ekspluatatsiya burovogo oborudovaniya: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 312 s.]
- 6 ГОСТ 31844-2021. Межгосударственный стандарт (ISO 13535:2000 MOD). Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование буровое и эксплуатационное. Оборудование подъемное. Общие технические требования. – М.: 2013.

REFERENCES

- 1 Akhmetov S.V., Akhmetov N.V., Userbaiyev M.T. Metodika optimizacii parametrov silovyh zubchatyh peredach s peremennymi peredatochnymi otnosheniyami // Vestnik NIA RK. – 2020. – №1(75). – С.: 22-29.
- 2 Aitimov A.S., Akhmetov S.V., Akhmetov N.V. Metodika rascheta parametrov transmissii s grupповым приводом // Vestnik NIA RK. – 2020. – №1(75). – С.: 10-17.
- 3 Dusarlapudi K., Narasimha K. Raju, Allaparapu S., Vishnu P., Sai Sree, Kishore K., Kumar. Hardware simulation platform for Industrial Automation applications // International Journal of Future Generation Communication and Networking, 2021. Vol. 14. No. 1. PP. 107-117.
- 4 Hiroaki D., Tomohiro M., Kiichiro I. Digital Geometry Processing for Large-Scale Structures and Environments // International Journal of Automation Technology, 2021. Vol.15. No.3, PP. 257.
- 5 Samohvalov M.A., Montaj i ekspluatatsiya burovogo oborudovaniya: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 312 s.
- 6 GOST 31844-2021. Mejjosudarstvennyi standart (ISO 13535:2000 MOD). Neftiyanaia promyshlennost. Oborudovanie burovое I ekspluatacionnoe. Oborudovanie podiemnoe. Obshie tekhnicheskie trebovaniya. – М.: 2013.

**С. М. АХМЕТОВ, М. ӨСЕРБАЕВ, Н. М. АХМЕТОВ,
Ж. У. ИҚЛАСОВА, Ж. Қ. ЗАЙДЕМОВА**

С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті

**БҰРҒЫЛАУ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНЫҢ ТРАНСМИССИЯСЫН ОҢТАЙЛЫ
ЖОБАЛАУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ**

Бұрғылау қондырғыларының (БҚ) шығырларының трансмиссиясын оңтайлы жобалау үшін алгоритмдер мен кіші бағдарламалар ұсынылған. БҚ көтеру кешенінің (КК) параметрлерін анықтаудың біріктірілген бағдарламасын әзірлеу мақсатында КК сипаттамасын құру және оның

жұмысының есептік режімдеріне сәйкес келетін нүктелерді анықтау үшін блок-схема жасалды. Күш агрегаттарының қуатын ұтымды пайдалануды ескере отырып, кинематикалық зерттеулерге сүйене отырып, БҚ КК трансмиссиясының беріліс коэффициенттерін бөлу әдісі ұсынылды. Бұның өзі, беріліс жұмыс элементтерінің оңтайлы аймағын анықтауға ықпал етті. Осылайша, жасалған әдістер мен математикалық модельдер негізінде компьютерлік есептеулерді қолдануға бағытталған көтеру кешенінің берілісін оңтайлы жобалау үшін алгоритмдер мен бағдарламалар жасалды.

Түйін сөздер: трансмиссия, күштік агрегаттар, көтеру кешені, бөлу әдісі, блок-схема, алгоритм, бағдарламалар, оңтайлы жобалау.

**S. M. AKHMETOV, M. USERBAYEV, N. M. AKHMETOV,
ZH. U. IKLASOVA, ZH. K. ZAIDEMOVA**

Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev

AUTOMATION OF OPTIMAL DESIGN OF DRILLING RIG TRANSMISSION

Algorithms and subroutines for optimal design of the transmission of drilling rig winches are proposed. In order to develop a joint program for determining the parameters of the lifting complex of the drilling rig, a block diagram was created to build the characteristics of the lifting complex and determine the points corresponding to the calculated modes of its operation. Based on the conducted kinematics studies, taking into account the rational use of the power of power units, a method for dividing the transmission ratios of the transmission of the lifting complex of the drilling rig is developed. This helped to determine the optimal area of existence of the working elements of the transmission. Thus, on the basis of the created methods and mathematical models, algorithms and programs for the optimal design of the transmission of the lifting complex, focused on the use of computer calculations, are developed.

Keywords: *transmission, power units, lifting complex, partitioning method, block diagram, algorithms, programs, optimal design.*

Ж. А. АЛДИЯРОВ¹, Н. Ж. ЖАНАБАЙ^{1*}, А. Ж. ЖАЛҒАСОВ¹

¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКЦИИ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМ СЛОЕМ

Представлены результаты экспериментальных исследований конструктивного решения ограждения, в котором для повышения теплоемкости используется панель с теплоаккумулирующим материалом. Экспериментальные исследования проведены на фрагменте стенового ограждения с энергоактивной панелью с слоем термоаккумулирующего материала из товарного парафина. Показано, что конструкция ограждения с теплоаккумулирующей панелью обеспечивает аккумуляцию тепла в панели и регулирует тепловой режим в помещении.

***Ключевые слова:** высокоэффективных утеплителей, товарный парафин, теплоаккумулирующий материал, аккумуляция энергии, светоотражающая пленка, энергоактивная конструкция.*

Одним из перспективных направлений создания энергоэффективных зданий и их конструкций является разработка наружных ограждающих конструкции повышенной тепловой эффективности [1-3]. Необходимый уровень тепловой защиты таких наружных ограждений устанавливается посредством увеличения термической однородности конструкций, высокоэффективных утеплителей, рационального размещения в массиве ограждения теплоаккумулирующих и теплоизоляционных слоев и оптимизации их слоев. Однако комплексная оценка тепловой эффективности одно и многослойных наружных стен показал нецелесообразность дальнейшего увеличения толщины ограждения, поскольку при этом возрастает расход тепла на изготовление материалов и изготовление конструкций [4,5].

Вместе с тем в настоящее время в практике проектирования энергоэффективных зданий начали широко использовать системы аккумуляции солнечной энергии [6-8]. Анализ возможности аккумуляции тепловой энергии с помощью различных технических систем указывает на достаточную эффективность регулирования потребления тепловой энергии посредством самих конструкций зданий. В подобной системе утилизируется как прямая, так и рассеянная солнечная радиация, которая для многих районов республики может составлять до 50% суммарного прихода солнечной энергии за время отопительного периода.

Предлагаемые системы аккумуляции энергии в наружном ограждении имеют малую теплоемкость (быстро охлаждается), что является их основным недостатком. В связи с этим разработано и экспериментально испытано новое конструктивное решение ограждения, в котором для повышения теплоемкости используется панель с теплоаккумулирующим материалом.

Разработанная энергоактивная конструкция стенового ограждения здания, в соответствии с рисунком 1, включает двойное светопрозрачное покрытие 1, светоотражающую пленку из фольги 2, стеновую панель 3, заполненную фазопереходным теплоаккумулирующим материалом, на основе товарных парафинов. В верхней и нижней

* E-mail корреспондирующего автора: nurlan.zhanabay777@mail.ru

частях ограждения размещаются каналы 4 и 5, в которых установлены терморегулируемые заслонки 6 и 7. Ограждение имеет нижнее 8 и верхнее 9 части. Теплоноситель поступает через входное отверстие 4 и отводится через выходное отверстие 5, проходя через канал 10. Заслонки регулируются терморегулятором 11.

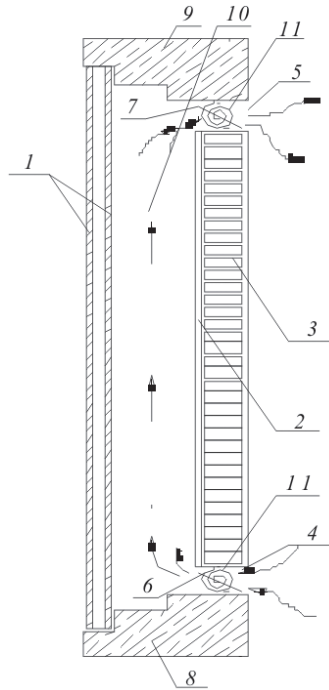


Рисунок 1 – Энергоактивная конструкция ограждения с теплоаккумулирующей панелью

Солнечная радиация, проникая сквозь прозрачное двойное покрытие 1, попадает на светоотражающую фольгу 2. Воздух, нагреваемый фольгой 2, поднимается по каналу 10 и выходит из выходного отверстия 5 в помещение, а на его место поступает холодный воздух через входное отверстие на уровне пола 4. Таким образом, осуществляется циркуляция воздуха и обогрев помещения. Вместе с нагревом воздуха в канале 10 нагревается теплоаккумулирующая панель, заполненная фазопереходным теплоаккумулирующим материалом, до температуры плавления и выше. Если воздух в помещении нагревается выше допустимой температуры, то регулирующие терморегулятором 11 заслонки 6 и 7 закрываются, солнечные лучи нагревают воздух в канале 10, а часть солнечной энергии проходит через светоотражающий слой 2 к внутренней теплоаккумулирующей панели 3 и, нагревая ее, накапливается в ней. В ночное и пасмурное время воздух в помещении нагревается от стеновой панели 3, как при открытых, так и при закрытых заслонках. Из-за плотного контакта теплоотражающего слоя 2 и панели 3 тепло от панели при закрытых заслонках передается в помещение. Слой 2 служит теплоотражающим слоем для внутренней панели 3, которая в свою очередь за счет фазового перехода (кристаллизации) теплоаккумулирующего жидко-

го парафина удерживает тепло в помещении. Регулирование температуры воздуха в помещении осуществляется за счет регулирования степени циркуляции воздуха через канал 10 путем большего или меньшего открытия заслонок 6 и 7, управляемых терморегулятором 11. При повышении температуры воздуха в помещении заслонка под действием терморегулятора прикрывается и за счет тепла в помещении теплоаккумулирующий материал панели 3 плавится и накапливает тепло, при понижении температуры – заслонки открываются, и тепло передается в помещение.

Проведение экспериментальных исследований разработанных энергоактивных конструкции наружного ограждения нацелено на обоснование эффективности применения в ограждающих конструкциях зданий различных вариантов энергоактивных конструктивных решений ограждения.

Экспериментальные исследования были разбиты на следующие этапы:

- проведение испытаний энергоактивных конструкций ограждения без теплоаккумулирующей панели на фрагменте стенового ограждения;
- проведение испытаний энергоактивных конструкций ограждения с теплоаккумулирующей панелью на фрагменте многослойного стенового ограждения;
- обработка и анализ полученных экспериментальных данных по испытаниям различных вариантов решений энергоактивных конструкций наружного ограждения.

Экспериментальные исследования проводились на фрагменте стенового ограждения с энергоактивной панелью, выполненной в масштабе 1:1 к натурной конструкции ограждения и обеспечивающей вариантное решение энергоактивной панели, в соответствии с рисунком 2.



Рисунок 2 – Общий вид фрагмента стенового ограждения

Несущей частью ограждения является стена из стандартного керамического кирпича по ГОСТ 530-2012. Поверхности ограждения оштукатурены цементно-песчаной штукатуркой. Энергоактивная панель представляет собой нишу в несущей части стены размером створки оконного переплета – 910х610мм. Глубина ниши – 130мм. Толщина воздушной полости между внутренней стенкой ниши и поверхностью светопрозрачного ограждения - 110мм.

Передняя стенка энергоактивной панели состоит из светопрозрачного двойного оконного стекла. В энергоактивной панели имеются отверстия входа и выхода воз-

душного теплоносителя диаметром 100мм. В задней стенке фрагмента ограждения имеются входное отверстие диаметром 100мм и выходное отверстие того же диаметра с встроенным трехрежимным вентилятором фирмы KLAUS.

В энергоактивной конструкции с теплоотражающими экранами покрытие из алюминиевой фольги размещалось по внутренней поверхности ниши.

В энергосберегающей конструкции с энергоактивной теплоаккумулирующей панелью теплоаккумулирующим материалом фазового перехода принят материал полученный смешением товарных жидких и твердых парафинов. В качестве основы для производства ТАМ использовался твердый товарный парафин, содержащий *n*-алканы от $C_{18}H_{38}$ до $C_{21}H_{44}$ температурой плавления 28...41 $^{\circ}C$, суммарной теплотой плавления и фазового перехода 214 - 222 Дж/г [9].

Расплавленный теплоаккумулирующий материал на основе парафинов заливался в специальный герметичный контейнер из оконного стекла в соответствии с рисунком 3. Контейнер размещался на внутренней стенке энергоактивной панели.

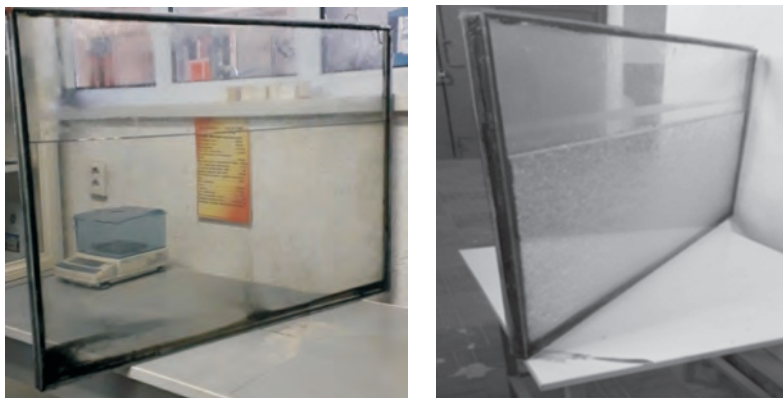


Рисунок 3 – Общий вид контейнера с теплоаккумулирующим материалом

Проведение экспериментов основано на тепловизионном контроле поверхности энергоактивной конструкции ограждения согласно ГОСТ 26629-85 и измерений температуры воздуха на входе и выходе из энергоактивной панели.

При проведении энергетического обследования использован ручной тепловизор FLIR i3.

Диапазон измерений температур прибора от - 0 $^{\circ}C$ до +50 $^{\circ}C$, температурная чувствительность – 0,15 $^{\circ}C$. Погрешность измерений прибора составляет $\pm 2^{\circ}C$, но не менее $\pm 2^{\circ}C$ от значения измерения.

Тепловизионному контролю были подвержены как наружные, так и внутренние поверхности фрагмента ограждающих конструкций. По обзорной термограмме с дисплея тепловизора выявлялись участки с наибольшими температурами, которые затем были подвержены детальному термографированию и уточнению температуры поверхности ограждения.

Обработку результатов термографирования производили с использованием программного комплекса **FLIR QuickRepor**.

Солнечная радиация моделировалась лабораторной установкой состоящей из штатива, лампы накаливания 200Вт и экрана.

Основными измеряемыми параметрами эксперимента являлись температура поверхности теплоотражающего покрытия, интенсивность моделируемой световой радиации, температуры на входе и выходе из энергоактивной панели.

Общий вид экспериментального комплекса представлен в соответствии с рисунком 4.



Рисунок 4 – Общий вид экспериментального комплекса, подготовленного к испытаниям

В связи с этим были проведены испытания стенового ограждения с теплоаккумулирующей панелью.

Результаты испытаний представлены в виде таблицы 1 и рисунка 5.

Таблица 1 – Температуры на светоотражающей поверхности энергоактивной конструкции, температуры на входе и выходе теплоносителя из теплоаккумулирующей панели

Наименование панели	Время проверки	Температура поверхности, °С	Температура при входе, °С	Температура при выходе, °С	Разница температур, °С
1	2	3	4	5	6
Фрагмент ограждения с ТАМ	8- ⁴⁰	24,0	24,2	23,9	0,3
	9- ⁴⁰	28,8	24,1	25,3	1,2
	10- ⁴⁰	34,3	24,2	28,8	4,6
	11- ⁴⁰	37,1	24,8	32,1	7,3
	12- ⁴⁰	38,3	25,5	33,1	7,6
	13- ⁴⁰	39,3	25,5	34,0	8,5
	14- ⁴⁰	40,9	26,1	34,6	8,5
	15- ⁴⁰	41,1	26,4	35,5	9,1
-16- ⁴⁰	44,5	26,7	37,4	10,7	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
	-17. ⁰⁵	32,7	26,6	36,1	9,5
	-17. ²⁰	30,4	26,5	34,6	8,1
	-17. ³⁵	28,8	26,6	33,5	6,9
	-17. ⁵⁰	28,2	26,4	32,4	6,0
	-18. ⁰⁵	28,1	26,1	32,0	5,9
	-18. ²⁰	27,3	26,2	31,6	5,4
	-18. ³⁵	26,6	26,1	30,8	4,7
	-18. ⁵⁰	25,8	26,2	30,5	4,3
	-19. ⁰⁵	25,6	26,2	30,5	4,3
	-19. ²⁰	23,6	26,4	30,5	4,1

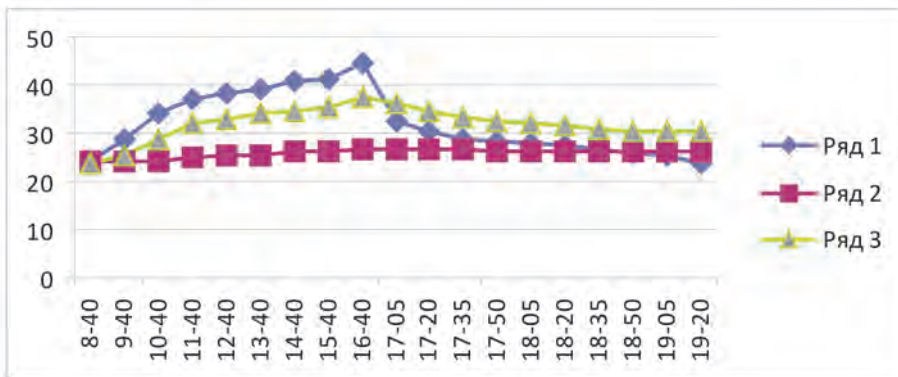


Рисунок 5 – Температуры наружной поверхности, температуры на входе и выходе теплоносителя из теплоаккумулирующей панели
 1 ряд – температура поверхности, °C; 2 ряд – температура при входе, °C;
 3 ряд – температура при выходе, °C

Графики рисунка 5 показывают относительное постоянство температуры на входе в энергоактивную панель и рост температуры на выходе из нее. Однако сравнение температур на входе в начальный момент эксперимента, в период радиации и конце эксперимента показал, что температура носителя увеличилась от 24,0 °C и до 26,7 °C, что указывает на значительный нагрев носителя в самом канале и недостаточном отводе носителя из канала в помещение.

Максимальная температура воздушного теплоносителя на выходе из панели составила + 37,4°С, а температура на наружной поверхности панели - +44,5°С. Максимальная разница между температурой на входе и температурой на выходе теплоносителя из панели составил + 10,7 °C.

Заметим также медленный нагрев воздушного теплоносителя в самом канале (за три часа от 24,2°С до 37,1°С), что объясняется большой теплоемкостью термоаккумулирующего материала в панели. Однако за счет фазового перехода термоаккумулиру-

ющего материала и отдачи тепла после выключения источника радиации наблюдается довольно медленное остывание теплоносителя в канале. Это обстоятельство можно отнести к положительному моменту, так как медленное остывание ограждения благоприятно влияет на тепловую защиту здания и увеличивает сопротивление теплопередаче ограждения в целом.

Наблюдается длительное сохранение разницы температуры на выходе и входе теплоносителя в панели (в течении 7 часов поддерживается разница температур в более от 7 до 10⁰С). Данный факт можно отнести тоже к положительному моменту так как обеспечивается равномерная подача тепла в помещение в течение длительного времени.

Как и ожидалось, термоаккумулирующий материал из товарного парафина с температурой плавления и фазового перехода 25-35⁰С и суммарной энтальпией плавления и фазового перехода 205-212 Дж/г аккумулирует тепло от солнечной радиации и подает в канал. Это способствует равномерной и продолжительной подаче тепла в помещение, а также продолжительному остыванию самого стенового ограждения. Отметим также как положительный факт повышение сопротивления теплопередаче стенового ограждения и самой панели.

Анализ термограмм наружной поверхности энергоактивной панели с теплоаккумулирующим материалом показывает также, что высокая температура поддерживается в большем объеме канала, а наибольшая ее температура наблюдается в области выхода теплоносителя из панели.

В заключении отметим, что проведенные экспериментальные исследования фрагмента стенового ограждения с теплоаккумулирующей панелью обосновывают эффективность применения этих конструкций в ограждениях зданий с целью энергосбережения, снижения ресурсов затрачиваемых на отопление, повышения тепловой защиты и энергоэффективности здания в целом.

Разработанная энергоактивная конструкция стенового ограждения с теплоаккумулирующей панелью обеспечивает аккумуляцию тепла в панели ограждения, регулирует тепловой режим в помещении, а сама теплоаккумулирующая панель с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом служит теплозащитным слоем в ограждении.

ЛИТЕРАТУРА

1 Граник Ю.Г. Конструкции наружных ограждений и инженерные системы в новых типах энергоэффективных жилых зданий // Энергосбережение. – 2003. – № 5. – С.73-75.

2 Ватин Н.И. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал, №8, Санкт-Петербург. – 2012. – С.4-14.

3 Гнездилова О.А. Анализ энергоэффективности многослойных ограждающих конструкций с различными теплоизоляционными материалами // Альманах современной науки и образования, № 5(72), Тамбов. – 2013. – С. 48-53.

4 Гулак Л.И. Анализ эффективности применения пенополистирола для утепления стен современном строительстве // Научный Вестник ВГАСУ. Материалы 13-ой межрегиональной науч.-практич. конф. «Высокие технологии в экологии». Воронеж. – 2010. – С.100-104.

5 Осипова Н.Н. Оптимизация тепловой защиты здания в условиях динамики стоимости энергоресурсов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2010. Вып. 18 (37). – С.98-103

6 Сотникова О.А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения // АВОК. – 2003. – № 5. – С.40-44.

7 Богословский В.Н. Аспекты создания здания с эффективным использованием энергии // АВОК. – 2001. – № 5. – С.34-39

8 Beregovoi A.M. The energy saving by energy active construction / Report and information of International scientific and technical conference, Novvenber 10-17/ – Casablanka, Varocco/-2003 – P.67-68.

9 Камбаров М.А. Звягина З.А. Кудабаяев Р.Б., Оралбек Қ. Фазопереходная теплоаккумулирующая парафиновая композиция // International scientific journal «Global science and innovations 2019: Central Asia» Nur-Sultan, Kazakhstan, sep-oct. 2019, – С. 312-317.

REFERENCES

1 Granik YU.G. Konstrukcii naruzhnyh ograzhdenij i inzhenernye sistemy v novyh tipah energoeffektivnyh zhilyh zdaniy // Energoberezhenie. – 2003. – № 5. – С.73-75.

2 Vatin N.I. Vliyanie urovnya teplovoj zashchity ograzhdayushchih konstrukcij na velichinu poter' teplovoj energii v zdanii // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, №8, Sankt-Peterburg. – 2012. – С.4-14.

3 Gnezdilova O.A. Analiz energoeffektivnosti mnogoslojnyh ograzhdayushchih konstrukcij s razlichnymi teploizolyacionnymi materialami // Al'manah sovremennoj nauki i obrazovaniya, № 5(72), Tambov. – 2013. – С. 48-53.

4 Gulak L.I. Analiz effektivnosti primeneniya penopolistirola dlya utepleniya sten sovremennom stroitel'stve // Nauchnyj Vestnik VGASU. Materialy 13-oj mezhr regional'noj nauch. praktich. konf. «Vysokie tekhnologii v ekologii». Voronezh. – 2010. – С.100-104.

5 Osipova N.N. Optimizaciya teplovoj zashchity zdaniya v usloviyah dinamiki stoimosti energoresursov // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. – 2010. Vyp. 18 (37). – С.98-103.

6 Sotnikova O.A. Akkumulyatory teploty teplogeneriruyushchih ustanovok sistem teplosnabzheniya // AVOK. – 2003. – № 5. – С.40-44.

7 Bogoslovskij V.N. Aspekty sozdaniya zdaniya s effektivnym ispol'zovaniem energii // AVOK. – 2001. – № 5. – С.34-39.

8 Beregovoi A.M. The energy saving by energy active construction / Report and information of International scientific and technical conference, Novvenber 10-17/ – Casablanka, Varocco/-2003 – P.67-68.

9 Kambarov M.A. Zvyagina Z.A. Kudabaev R.B., Oralbek Қ. Fazoperekhodnaya teploakkumuliruyushchaya parafinovaya kompoziciya // International scientific journal «Global science and innovations 2019: Central Asia» Nur-Sultan, Kazakhstan, sep-oct. 2019, – С. 312-317.

Ж. А. АЛДИЯРОВ, Н. Ж. ЖАҒАБАЙ, А. Ж. ЖАЛҒАСОВ

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті

ЖЫЛУ ЖИНАҚТАУШЫ ҚАБАТЫ БАР СЫРТҚЫ ҚОРШАУ КОНСТРУКЦИЯСЫН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Қоршаудың конструктивтік шешімінің тәжірибелік зерттеулерінің нәтижелері берілген, онда жылу сыйымдылығын арттыру үшін жылужинақтағыш материалы бар панель пайдала-

нылады. Тәжірибелік зерттеулер тауарлық парафиннен жасалған термоаккумуляциялаушы материал қабатымен энергоактивті панелі бар қоршауға қоршауының фрагментінде жүргізілді. Жылужинағыш панелі бар қоршау конструкциясы панельдегі жылудың жинақталуын қамтамасыз етеді және бөлмедегі жылу режимін реттейді.

Түйін сөздер: жоғары тиімді жылытқыштар, тауарлық парафин, жылу жинақтағыш материал, энергияны шоғырландыру, жарық шағылыстырғыш пленка, энергоактивті құрылым.

ZH. ALDYAROV, N. ZHANGABAY, A. ZHALGASOV

M. Auezov South Kazakhstan State University

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE DESIGN OF AN EXTERNAL FENCE WITH A HEAT-ACCUMULATING LAYER

The results of experimental studies of the fence design solution, in which a panel with a heat-accumulating material is used to increase the heat capacity, are presented. Experimental studies were conducted on a fragment of a wall fence with an energy-active panel with a layer of thermal storage material made of commercial paraffin. It is shown that the construction of the fence with a heat-accumulating panel provides heat accumulation in the panel and regulates the thermal regime in the room.

Keywords: *high-performance insulation, commercial paraffin, heat-accumulating material, energy storage, reflective film, energy- active construction.*

GHOLAMREZA ROUHI

*Faculty of Biomedical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
e-mail: grouhi@aut.ac.ir*

CONTINUUM MECHANICS: APPLICATIONS IN BONE REMODELING AND BONE RESORPTION MODELS

A brief description of continuum mechanics is given, first. Then, a general introduction on biomechanics is presented, along with some salient features of it, which should be kept in mind when one is working in this field. The manuscript will continue with an introduction on bone remodelling process, then some phenomenological models on the bone remodelling process will be introduced. A general description of bone resorption, and two mixture models, with chemical reactions, on bone resorption will make the next section. Finally, discussion and some conclusions are made on the positive, also improvable aspects of the reviewed models of bone remodelling, and bone resorption.

Keywords: *continuum mechanics; biomechanics; bone cells; remodeling; resorption; mixture theories; chemical reactions*

Continuum mechanics. The subject of mechanics deals with the study of motion and forces in solids, liquids, and gases, and the deformation or flow of these materials. In a continuum, for analysis purposes, all quantities such as the density, displacements, velocities, stresses, and so on vary continuously, so their spatial derivatives exist and are assumed to be continuous. The continuum assumption allows us to shrink an arbitrary volume of material to a point, in much the same way as we take the limit in defining a derivative. Thus, we can define quantities of interest, such as density, stress, strain, among others, at a point. A mathematical study of mechanics of such an idealized continuum is called Continuum Mechanics. The continuum mechanics theory consider matter as indefinitely divisible. Thus, within this theory, one accepts the idea of an infinitesimal volume of materials, referred to as a particle in the continuum, and in every neighborhood of a particle, there are always neighbor particles. More than a hundred years of experience have justified such a theory in a wide variety of situations. The study of motion and deformation of a continuum can be broadly classified into four basic categories: Kinematics (strain-displacement equations); Kinetics (conservation of momenta); Thermodynamics (1st and 2nd laws of thermodynamics); and Constitutive equations (stress-strain relations). The first three ones are general principles common to all media, but the last one, i.e. constitutive equations, defines idealized materials and are material dependent, such as Hooke's law for linear elastic material. Kinematics is a study of the geometric changes or deformation in a continuum, without the consideration of forces causing the deformation. On the other hand, kinetics is the study of the static or dynamics equilibrium of forces and moments acting on a continuum, using the principles of conservation of momenta, which leads to equations of motion, also the symmetry of stress tensor in the absence of body couples. Thermodynamics principles are concerned with the conservation of energy and relations among heat, mechanical work, and thermodynamic properties of the continuum. Constitutive equations describe thermomechanical behavior of the material of

the continuum and they relate the dependent variables introduced in the kinetic description to those introduced in the kinematics and thermodynamics descriptions.

Biomechanics. Biomechanics is mechanics applied to biology. In other words, biomechanics seeks to understand the mechanics of living systems. It should be noted that that biomechanics can work from the level of the whole body to organs, tissues, cells, and sub-cellular levels, such as in proteins. Mechanics helps us understand how biological tissues, such as bones and muscles, remodel, and in general how cells and tissues respond to applied loads. If we wanted to find a solution for disease, such as osteoporosis, osteopetrosis, or osteoarthritis, among others, many fields and professions must work together, such as engineers, biologists, mathematicians, biochemists, clinicians, surgeons, and material scientists, to name a few. Fortunately, this has been improved through technology in the recent years, for instance the internet helps easier international collaborations. As opposed to engineering materials, biological materials are alive and ever active, open to mass exchanges, controlled by internal and external agents, subject to chemical reactions with inside and outside sources, and are precisely structured at various hierarchical levels. Thus, it is important to identify salient features of biomechanics, which differentiate it from mechanics, such as: material constitutions; growth and remodeling; and constitutive equations, to name a few. In almost all biological materials, more than one constituent is present, so if one wanted to study their mechanics properly, existence of various constituents, as well as interaction among them should be preferably taken into account. Moreover, due to ever changing nature of biological materials, finding their constitutive equations, as well as evolution in their both geometrical and material properties can be quite challenging. In other words, one should not only take into account the effects of mechanical loading on density distribution, and thus on mechanical properties of a biological tissue, but also should consider the effects of stimuli on its cells' behavior and their reaction to the stimuli.

Bone remodeling process. Bone is continuously remodeled through a coupled process of bone resorption and formation, and this process is called bone remodeling. An early hypothesis about the relation between the structure and form of bones, and the mechanical loads they carry was proposed by Galileo in 1638 [1]. The nature of this dependence was first described in a semi-quantitative manner by Julius Wolff [2], who stated that every change in the form or function of a living bone is followed by adaptive changes in its internal architecture and also in its external shape. There are various types of bone remodeling models. Bone making cells (Osteoblasts) and resorbing cells (Osteoclasts) lie on the free surfaces of bone, thus, all bone resorption and apposition is thought to occur at these sites [3]. It is well accepted that bone remodeling is a surface phenomenon, and from a cellular point of view there is no difference between remodeling on different types of surfaces of bones [4]. The majority of bone adaptation models have been phenomenological, in which they seek to describe the stimulus and the response quantitatively [5, 6, 7], among many other papers. In the phenomenological models, the bone is being looked as a black box, assuming a special input and accordingly a special output and finally proposing an asymptotic relation between the input(s) and output(s). The remodeling process is generally viewed as a material response to functional demands that is governed by an intricate relationship between bone apposition and resorption. It is accepted that bone growth, maintenance, degeneration and remodeling are biochemically regulated processes influenced by mechanical function [8].

Some phenomenological models of bone remodeling process: free surface density and microcrack factor. Two important features of the internal structure of bone are its porosity and specific surface. Porosity is defined as the void volume per unit volume of the whole bone or the fractional part of bone occupied by soft tissues. The specific surface is defined as the internal surface area per unit volume of the whole bone. Therefore, it seems appropriate to consider the specific surface rather than volume fraction, which was used in adaptive elasticity theory (AET) [5], in the constitutive equations of bone remodeling. The 1st modification on the AET can be made by using a free surface density parameter (Free surface density is defined as the total area of interface between bone matrix (solid phase) and fluid phase per total volume of the bone), instead of volume fraction (Volume fraction is defined as volume of the bony part to the total volume of bone sample). The assumptions underlying this bone remodeling model are:

(i) when there is no free surface, there will be no bone remodeling; (ii) if the mechanical stimuli are in a neutral zone, there will be no remodeling. Using the newly developed bone remodeling equation [8], one can appreciate that a single equation can be used for surface and internal remodeling, and the effects of mechanical stimuli and bone geometry on bone remodeling [9], can be studied simultaneously. Interesting to note that geometric feedback in the bone remodeling process, as proposed by [3], can also be explored in the newly developed bone remodeling model, which was not observable in the AET. Furthermore, by considering the obvious effect of the specific surface on the bone remodeling equation, one can conclude that two people with an equal average mass density, similar shape of bones (macroscopically), similar mechanical stimuli, similar hormonal stimuli and same form of nutrition can experience different rates of osteoporosis because of the micro-structure of the bones. Thus, for evaluating risks for fracture in osteoporotic bones, besides measuring the volume fraction (solid phase volume per total volume), the microstructure of bone and the magnitude of the specific surface must be quantified. Another modification on the AET

[5] corresponds to the inclusion of microcracks factor. Microcracks have been observed in bone with the use of laser scanning electron confocal microscopy and transmitted light microscopy. They have been associated with causing stress fractures [10], and remodeling [11, 12], and it has been hypothesized that fatigue damage acts as a stimulus for bone maintenance [7]. It is well accepted that damage can initiate and accelerate bone remodeling process [12, 13]. When one considers microcracks factor, a modification on the definition of volume fraction, Helmholtz free energy, and constitutive equations should be made as well. When we replace volume fraction with the free surface density, and introduce microcracks factor into the constitutive equations, the resulted bone remodeling equation contains not only the effect of mechanical stimuli, but also their time history, and their time rate [14]. Some studies suggest that strain rate is a mechanical stimulus which affects bone remodeling process [15]. Furthermore, it has been shown experimentally that the history of loading is also an important factor in the rate of bone remodeling [16]. Equality of mechanical stimuli does not necessarily result in equality of microdamage depends on the history of the mechanical stimuli, the bone micro- and macrostructure, and the material properties of bone [14]. Furthermore, our model showed that the rate of remodeling is not a function of the rate of damage production, but the damage factor itself [14]. Novel to the literature is the idea that microdamage, the pattern of solid mass distribution, mechanical stimuli, rate of change

in mechanical stimuli, and history of the mechanical stimuli are coupled and influence bone remodeling process.

It is well known that bone remodeling is comprised of bone resorption followed by formation with a coupling between the two processes [17]. Optimal remodeling is responsible for bone health and strength throughout life. An imbalance in bone remodeling may cause diseases, such as osteoporosis. When bone resorption outstrips bone formation for a long period of time, osteoporosis arises. Current methods of tackling osteoporosis place the most attention on inhibiting or decreasing osteoclastic activity. The increasing rate of osteoporosis in an aging population calls for a greater understanding of the cellular mechanism of bone resorption. Bone resorption is considered as a chemical process that occurs between osteoclasts and the matrix. Osteoclasts dissolve bone mineral by acid secretion that degrades the organic matrix [18]. There are different approaches to model multi-phasic media, e.g. mixture theory, the effective medium, and homogenization approaches. Considering the time duration of the bone resorption process, and also the significant effect of resorption in osteoporotic cases, only the first phase of the remodeling process, i.e. bone resorption, was modeled using a bi-phasic mixture model first [19], then through making a tri-phasic model [20]. In the bi-phasic mixture model of bone resorption [19], bone was treated as a biphasic mixture of matrix and fluid, and modeled resorption as an exchange of mass between the solid and fluid phases. This exchange is caused by the secretion of H^+ and Cl from osteoclasts, which creates an acidic environment in a sealed zone [2]. In our bi-phasic model, demineralization depends on the rate of surface processes. Mixture theory with chemical reactions will be used to derive conservation laws of mass, linear and angular momentum, energy, and the entropy inequality. In the conservation of mass equations, the rate of mass transferred to different constituents is assumed to be given by an empirical relation arising from the dissolution kinetics of the solid phase. The governing equations for bone resorption are derived using the conservation laws, as well as entropy inequality and the appropriate constitutive equations. In the constitutive equations, it is assumed that dependent variables (e.g., free energy) are functions of temperature, deformation gradient, rate of deformation gradient, and the extent of chemical reactions. Since biological, chemical, and mechanical factors have a definite effect on the rate of dissolution, we hypothesize that a biochemomechanical driving force should be considered in the dissolution relation, instead of just a chemical driving force. We used a dissipation law to find the biochemomechanical affinity. Dissipation in the system was defined as the difference between the external work rate and the rate of change in free energy, which according to the Second Law of Thermodynamics, it should be nonnegative. Our bi-phasic model showed that not only mechanical stimulus, i.e. strain energy, but also chemical and biological factors determine the rate of bone resorption, so we proposed a biochemomechanical affinity for the bone resorption process. Interesting to note that strain energy density was proposed to be a likely stimulus for bone remodeling [21], and it was used extensively in many theoretical modeling of bone adaptation, for instance in [22, 23, 24, 25, 26]. In our bi-phasic model, using 2nd law of thermodynamics, it is theoretically shown that strain energy is an effective mechanical stimulus for the bone resorption. Also, it was shown that hydrostatic pressure is another mechanical stimulus for the bone resorption, and thus should be taken into account in the bone remodeling theories, which is missed in the currently developed models in

the literature. Using the bi-phasic model, it was also shown that increasing either strain energy density or hydrostatic pressure will enhance rate of bone resorption. Nowadays, the most common method in treating osteoporosis is anti-bone-resorption drugs which inhibit or reduce the bone resorbing cells (i.e. osteoclasts) activity. The reason for using this way of treatment is the lack of information about all the factors affecting osteoclasts' activity. This preliminary theoretical research shows that the activity of osteoclasts and, thus, the rate of bone resorption are not only dictated by biological factors (e.g., hormone levels), but also by engineering factors (hydrostatic pressure, strain energy density, and concentration of different ions present in the resorption process).

In another effort, we developed a tri-phasic model of bone resorption with the scope of deriving and introducing the governing equations resulting from conservation laws (conservation of mass, momentum, and energy), the second law of thermodynamics, constitutive equations, and consistency requirements of mixture theory [20]. In the tri-phasic model, bone was treated as a tri-phasic mixture of matrix, fluid, and cells. It is assumed that the solid phase obeys small deformation theory and is isotropic and linearly elastic. The velocity of the matrix and cells is assumed to be zero. The fluid phase is assumed to be viscous, and inertial effects are neglected because of the slow velocities that are at play. A non-rotational fluid is assumed for deriving the final form of the entropy inequality for the mixture as a whole. A non-polar mixture assumption is also made; thus the stress tensors and the inner part of the stress tensor are symmetric. In the constitutive equations, it is assumed that the free energy, enthalpy, specific entropy, heat flux, and stress tensor are functions of temperature, deformation gradient, and the extent of the chemical reactions. Bone resorption was considered as an isothermal and a quasi-static process. The last assumption is well justified because the characteristic time of bone resorption is much longer than the characteristic time for inertial effects. Using these assumptions, the governing equations for bone resorption were derived using the conservation laws (mass, momentum, and energy), as well as entropy inequality and the appropriate constitutive equations. Using a relation between the momentum supplied to the solid and fluid phases, it was shown that the rate of bone resorption is inversely proportional to the bone fluid velocity. Also, our tri-phasic model showed that in a high-porosity spongy bone, by increasing the porosity, the rate of resorption will decrease, and vice versa. This result encourages one to look at normal bone resorption as a control system with a negative feedback. Based on our results, it can be speculated that bone resorption in cortical and cancellous bones should be affected by a control system, which results from a relation between the specific surface of bone and its apparent density. Using the proposed model, one can find a theoretical explanation for some clinically observed behavior of bone, for instance for the greater rate of bone resorption in cortical than cancellous bone, using the conservation equations and/or consistency requirements of continuum mixture theory. It should be noted that, considering the fact that both mixture theory with chemical reactions and the bone resorption process from the mechanistic point of view are in their infancy, our mixture models were not able to offer verifiable predictions. This point can be seen as a drawback, but on the other hand can be deemed as a positive point to encourage others to get involved in this, almost virgin, field of research to shed more light and make novel contributions.

Conclusion. From the 1st modification on the adaptive elasticity theory [5, 6], i.e., by considering free surface density instead of commonly used volume fraction, and developing a new series of governing equations, some of the previous models can be extracted from this model [8]. It is also concluded that in the surface remodelling equation, one should consider the cross-sectional geometry in agreement with the experimental evidence. Moreover, on the basis of importance of the free surface in the remodelling process, it is concluded that in order to evaluate the risk of osteoporosis in high risk bones, beside of measuring bone density, the microstructural pattern of the bone should be inspected as well. From the 2nd modification on the adaptive elasticity theory, i.e. by considering free surface density and microcracks factor in the bone remodelling equation, it is concluded that mechanical stimuli, their time derivatives, and their integration over time period of remodelling are all at play in the remodelling processes. Also, it is shown that rate of remodelling is a function of microcracks factor, but not its time derivative. It also concluded that by considering a microcrack factor in the remodelling equation, one will find a very complex form of the remodelling equation even for a very simple geometry of bone. Due to multiphasic and complex substructure of bone, as well as existence of chemical reactions between bone actor cells, i.e. osteoclasts and osteoblasts, with the bone matrix, in order to be able to properly model either bone resorption or bone formation, it is better to use mixture theories with chemical reactions, instead of single phase continuum mechanics approach. Furthermore, to gain deeper insights into osteoporosis, it is better to model resorption and apposition separately, thus one should model bone resorption and then bone formation, and finally evaluate the net rate of bone remodeling. From the mixture models of bone resorption [19, 20], it can be concluded that mechanical, and chemical factors, both are at play, and can change the rate of resorption process. A bio-chemo mechanical affinity contains mechanical, chemical, and biological effects is used instead of commonly used Gibbs free energy, which contains only chemical factors (ions concentration). Ions concentration, from chemical side, and strain energy density and hydrostatic pressure, from mechanical side, and biologically generated potential, from biological side, are shown to be chemical, mechanical, and biological factors affecting resorption process. It is also shown that creating damage in bone can accelerate resorption process, because of increasing the strain energy density and, thus bio-chemo-mechanical affinity. Due to lack of experimental data on the remodeling rate coefficients, both in the adaptive elasticity theory [5, 6] and its modifications [7, 8], one of the most important step is to measure these constants using experimental techniques. In the bone resorption model, both experimental and numerical research are needed. In the experimental phase, it is needed to make a set up to measure the concentration of different ions in the microclimate between the osteoclasts and the matrix. Also, it is interesting to see the fluid phase velocity on the rate of resorption, and also on the concentration of ions in the microclimate and the bone fluid phase [27]. The effects of mechanical vibration on the rate of resorption can also be studied by employing the mixture models of bone resorption [19, 20], also through making experimental research.

Acknowledgments. Special thanks go to Amirkabir University of Technology, Iran.

REFERENCES

- 1 A. Ascenzi, "Biomechanics and galileo galilei," *Journal of biomechanics*, 1993. – Vol. 26. - PP. 95–100.
- 2 J. Wolf, "The law of bone remodeling," Springer-Verlag, Berlin, 1986.
- 3 R. B. Martin, "The effects of geometric feedback in the development of osteoporosis," *Journal of Biomechanics*, 1972. - Vol. 5. PP. 447–455.
- 4 D. R. Carter and G. S. Beaupré, *Skeletal function and form: mechanobiology of skeletal development, aging, and regeneration* (Cambridge university press, 2007).
- 5 S. C. Cowin and D. Hegedus, "Bone remodeling i: theory of adaptive elasticity," *Journal of Elasticity*, 1976. – Vol. 6. - PP. 313–326.
- 6 D. Hegedus and S. Cowin, "Bone remodeling ii: small strain adaptive elasticity," *Journal of Elasticity*, 1976. – Vol. 6. - PP. 337.
- 7 D. Carter and W. C. Hayes, "Compact bone fatigue damage—i. residual strength and stiffness," *Journal of Biomechanics*, Vol. 10. - PP. 325–337.
- 8 G. Rouhi, W. Herzog, L. Sudak, K. Firoozbakhsh, and M. Epstein, "Free surface density instead of volume fraction in the bone remodeling equation: theoretical considerations," *Forma*, 2004. - Vol. 19. PP. 165–182.
- 9 F. Bronner and R. V. Worrell, *Orthopaedics: principles of basic and clinical science* (CRC Press, 1999).
- 10 D. B. Burr, R. B. Martin, M. B. Schaffler, and E. L. Radin, "Bone remodeling in response to in vivo fatigue microdamage," *Journal of biomechanics*, 1985. – Vol. 18. - PP. 189–200.
- 11 P. Prendergast and D. Taylor, "Prediction of bone adaptation using damage accumulation," *Journal of biomechanics*, 1994. – Vol. 27. – PP. 1067–1076.
- 12 D. Taylor, J. Hazenberg, and T. Lee, "The cellular transducer in damage-stimulated bone remodelling: a theoretical investigation using fracture mechanics," *Journal of Theoretical Biology*, 2003. – Vol. 225. – PP. 65–75.
- 13 S. Mori and D. Burr, "Increased intracortical remodeling following fatigue damage," *Bone*, 1993. – Vol. 14. – PP. 103–109.
- 14 G. Rouhi, M. Epstein, L. Sudak, and W. Herzog, "Free surface density and microdamage in the bone remodeling equation: Theoretical considerations," *International Journal of Engineering Science*, 2006. – Vol. 44. - PP. 456–469.
- 15 S. Weinbaum, S. Cowin, and Y. Zeng, "A model for the excitation of osteocytes by mechanical loading-induced bone fluid shear stresses," *Journal of biomechanics*, 1994. - Vol 27. – PP. 339–360.
- 16 D. R. Carter, "Mechanical loading history and skeletal biology," *Journal of biomechanics*, 1987. – Vol. 20. – PP. 1095–1109.
- 17 W. Jee, "Integrated bone tissue physiology: Anatomy and physiology in: Cowin, sc," *Bone Mechanics Handbook*, CRC, New York, 2001.
- 18 H. Margolis and E. Moreno, "Kinetics of hydroxyapatite dissolution in acetic, lactic, and phosphoric acid solutions," *Calcified tissue international*, 1992. – Vol. 50. - PP. 137–143.
- 19 G. Rouhi, M. Epstein, L. Sudak, and W. Herzog, "Modeling bone resorption using mixture theory with chemical reactions," *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 2007. – Vol. 2. – PP. 1141–1155.
- 20 G. Rouhi, "A tri-phasic mixture model of bone resorption: Theoretical investigations," *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 2011. – Vol. 4. – PP. 1947–1954.
- 21 T. D. Brown, D. R. Pedersen, M. L. Gray, R. A. Brand, and C. T. Rubin, "Toward an identification of mechanical parameters initiating periosteal remodeling: a combined experimental and analytic approach," *Journal of biomechanics*, 1990. – Vol. 23. – PP. 893–905.
- 22 R. Huiskes, R. Ruimerman, G. H. Van Lenthe, and J. D. Janssen, "Effects of mechanical forces on maintenance and adaptation of form in trabecular bone," *Nature*, 2000. – Vol. 405. – PP. 704–706.

23 M. Doblaré and J. Garcia, "Application of an anisotropic bone-remodelling model based on a damage-repair theory to the analysis of the proximal femur before and after total hip replacement," Journal of Biomechanics, 2001. – Vol. 34. PP. 1157–1170.

24 M. Doblaré and J. Garcia, "Anisotropic bone remodelling model based on a continuum damage-repair theory," Journal of biomechanics, 2002. – Vol. 35. PP. 1–17.

25 R. Ruimerman, P. Hilbers, B. Van Rietbergen, and R. Huiskes, "A theoretical framework for strain-related trabecular bone maintenance and adaptation," Journal of biomechanics, 2005. – Vol. 38. – PP. 931–941.

26 R. Ruimerman, R. Huiskes, G. H. van Lenthe, and J. Janssen, "A computer-simulation model relating bone-cell metabolism to mechanical adaptation of trabecular architecture," Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2001. – Vol. 4. – PP. 433–448.

27 G. Rouhi, Theoretical aspects of bone remodeling and resorption processes, Ph.D. thesis, University of Calgary, AB, Canada, 2006.

28 H. C. Blair, "How the osteoclast degrades bone," Bioessays, 1998. – Vol. 20. – PP. 837–846.

ГОЛАМРЕЗА РУХИ

*Факультет биомедицинской инженерии,
Технологический университет Амиркабира, Тегеран, Иран
e-mail: grouhi@aut.ac.ir*

НЕПРЕРЫВНАЯ МЕХАНИКА: ПРИМЕНЕНИЕ В МОДЕЛЯХ РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ И РЕЗОРПЦИИ КОСТИ

В статье дается краткое описание механики сплошной среды. Представлено общее введение в биомеханику, а также некоторые ее характерные особенности, которые следует иметь в виду, работая в этой области. Статья содержит введение в процесс ремоделирования кости, также представлены некоторые феноменологические модели процесса ремоделирования кости. Также в статье представлено общее описание резорпции кости и две модели смеси с химическими реакциями резорпции кости. Наконец, обсуждение и некоторые выводы сделаны по положительным, а также поддающимся улучшению аспектам рассмотренных моделей ремоделирования и резорпции кости.

***Ключевые слова:** непрерывная механика; биомеханика; костные клетки; ремоделирование; рассасывание; теории смешения; химические реакции.*

ГОЛАМРЕЗА РУХИ

*Амиркабир технологиялық университетінің биомедициналық инженерия
факультеті, Тегеран, Иран
электрондық пошта: grouhi@aut.ac.ir*

ҮЗДІКСІЗ МЕХАНИКА: СҮЙЕКТІ РЕМОДУЛДАУ ЖӘНЕ РЕЗОРПЦИЯЛЫҚ МОДЕЛДЕРІН ҚОЛДАНУ

Алдымен континуумдық механиканың қысқаша сипаттамасы берілген. Биомеханикаға жалпы кіріспе, оның осы салада жұмыс жасағанда есте ұстау қажет кейбір ерекшеліктері берілген. Мақала сүйекті қалпына келтіру процесінің кіріспесімен жалғасады, содан кейін сүйекті қалпына

келтіру процесінің кейбір феноменологиялық модельдерін енгізу көрсетілген. Сүйек резорбциясының және сүйек резорбциясы бойынша химиялық реакциялары бар екі қоспаның моделінің жалпы сипаттамасы жазылған. Ақырында, сүйектерді қайта өңдеу мен сүйек резорбциясының қарастырылған модельдерінің оң және оңтайлы аспектілері бойынша пікірталастар мен кейбір тұжырымдар жасалды.

Түйін сөздер: үздіксіз механика; биомеханика; сүйек жасушалары; қайта құру; тарау; қоспалар теориясы; химиялық реакциялар.

D. E. TURALINA, A. M. ARSHABEKOVA*

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Gmail: arshabekovaaigerim@gmail.com

INVESTIGATION OF THE WHIRLPOWER MINI-HYDROELECTRIC POWER STATION USING THE CFD MODULE IN THE COMSOL MULTIPHYSICS ENVIRONMENT

This article deals with the study of small HPP equipment (Hydroelectric Station) for water channels after large dams and energy-deficient areas, in particular, the study of the whirlpool mini hydropower plant using the CFD module in the COMSOL Multiphysics environment.

The main reason for studying this device is the problem of power supply in areas of our country with a shortage of electricity, located outside the central regions, and in the CIS countries this type of HPP is poorly studied due to the lack of design technology and the comparatively low use of alternative energy sources in general. Only in recent years have been allocated funds from the National Fund to address this problem of alternative energy. For example, in Western Europe, Japan and China, there are several companies that produce this small HPP.

Keywords: *HPP(Hydro Power Plant), renewable energy, cylindrical turbine, conical turbine.*

Introduction. The need to reduce environmental impact, the search for new opportunities for improving the quality of life of the population, ensuring sustainable energy-efficient economic development, development of new technologies, diversification of the energy sector-all this contributed to the development and improvement of a certain base for the development of the «green economy» [1].

Micro- and small HPPs play a major role in the energy supply of remote areas, which are energy-deficient and occupy up to 53.4% of the territory of Kazakhstan. The development of small hydropower in the regions ensures [2]:

- creation of own regional generating capacities and reduction of the power deficit in the region;
- reliable power supply of quality electricity to communities in remote areas and at the end of main power transmission lines;
- achievement of economic and social stability in settlements which are not yet connected to the unified energy system;
- decrease in the subsidy level in the regions related to the purchase and delivery of fuel to hard-to-reach areas.

Similar types of mini HPPs were previously studied by scientists at the University of Malaysia[3], they reviewed the development of gravity water vortex power plant as an alternative renewable energy sources, also considered the experimental study of the influence of water pressure, length and number of turbine blades on the model system of energy generation with free vortex. In these works considered the optimal efficiency factor, built a model of mini hydroelectric power plant design in a simulator. We can also note the joint work of Oxford. Texas Tech University and Tribune University[4], this project worked to simulate a mini hydroelectric power plant in 3-dimensional space. This study analyzes

* E-mail корреспондирующего автора: arshabekovaaigerim@gmail.com

different basin structures that can form eddies, which can make a gravity vortex flow even from low head. Secondly, the results obtained have been experimentally carried out by measuring the power output [4,5].

Experimental technique. In almost all previous studies, laminar flow in a cylinder was considered based on the assumption of stable, axisymmetric and incompressible flow. For this flow we consider the incompressible form of the Navier-Stokes equations and the continuity equation as shown in (1)-(2) formula:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [\rho I + K] + F \quad (1)$$

$$\rho \nabla \cdot (u) = 0 \quad (2)$$

The physical meaning of this mini-HPP is that the flow is incompressible, weakly compressible flow (density depends on temperature, but not on pressure) and compressible flow at low Mach numbers (usually less than 0.3). The reference temperature is set to 293.15 K.

WE CONSIDER TWO DIFFERENT GEOMETRIES

Cylindrical turbine (figure 1)

Conical turbine (figure 2)

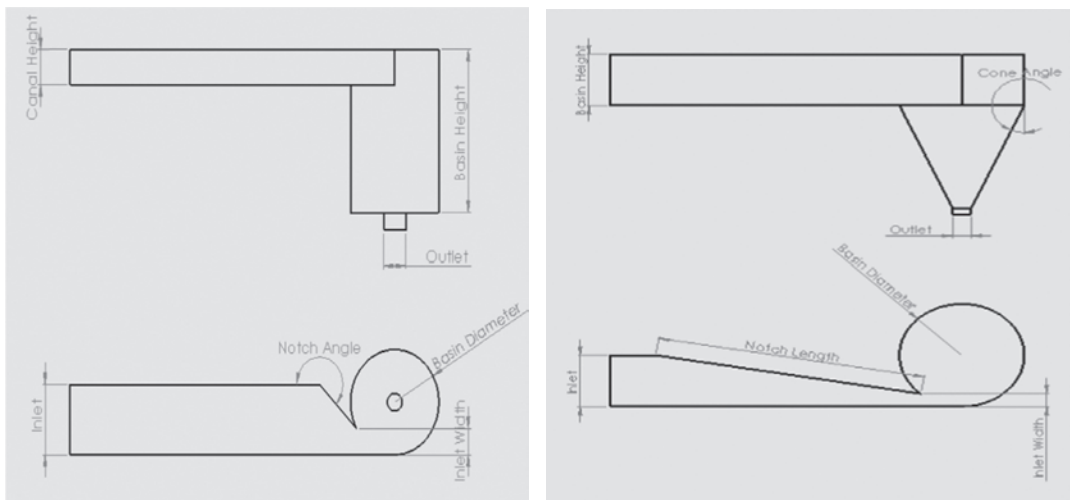


Figure 1 – Cylindrical view Fig. 2 Conical view

First, we consider the problem in two-dimensional space from the side and identify the best option for further study. This model is built for stationary flow in order to investigate the efficiency of different geometries considering velocity and angular velocity, thereby revealing a suitable model for us. In this work we make assumptions such as time dependent flow, also there is no slip condition. Here we take water as a fluid and consider it as an incompressible fluid with density $\rho=998.2 \text{ kg/m}^3$ and with viscosity $\mu=0.001003 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$. In

addition, the experiment was carried out with the conditions that there is no slip on the wall and at the outlet pressure flows out. The inlet (water) velocity is 0.01 m/s and the pressure is atmospheric.

Parameters that we initially set:

H inlet – 0,5 m

V inlet – 0,1m/s

H length – 1m

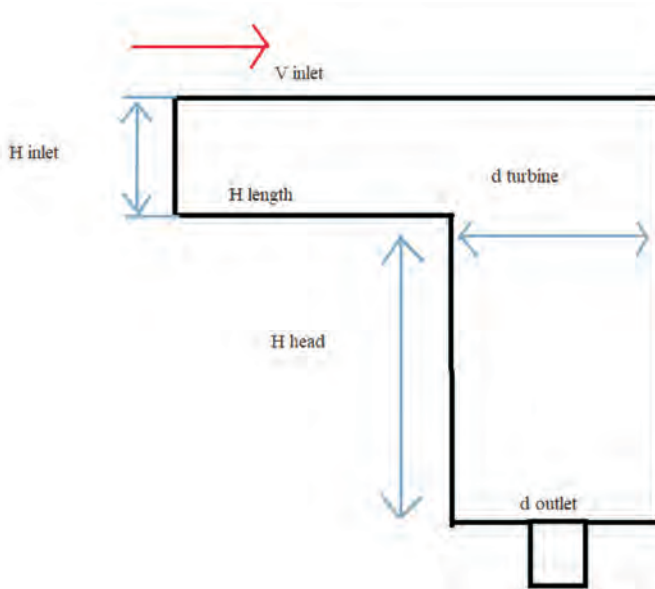


Figure 3 – Parameters that we set for Comsol Multiphysics

In the same way we will set the parameters for the conic view of the turbine. Now for both geometries we will change certain parameters for the study and modulate on the program Comsol Multiphysics.

Parameters that we investigate:

- 1) First of all we change the water pressure :
 - H head
 - H1=0,5m
 - H2=0,6m
 - H3=0,7m
- 2) Secondly, we change the diameter of the hole at the outlet:
 - D outlet
 - D1=0,1m
 - D2=0,05m
 - D3=0,03m
- 3) Now we will change the diameter of the turbine itself
 - D turbine

D turbine = 0,5m

D turbine = 0,3m

D turbine = 0,2m

Why do we take these dimensions?

From the previously obtained research and the experiment conducted, there are limits to the dimensions of the design that can be investigated.

After the results obtained, having chosen the optimal size, we will consider the view of the structure from above and thereby investigate the angles for the direction of water into the turbine[22-24].

1) H water head

Depending on the capacity of the water inside the turbine, its velocity changes.

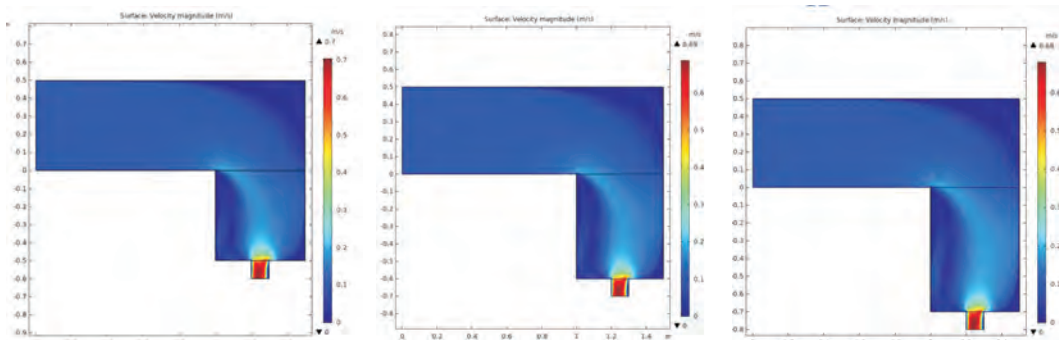


Figure 4 – The case when H1=0.5m and H2=0.6m, H3=0,7m

Now that we have the data for the cylindrical type of turbine, we can build a graph for a visual study of the process:

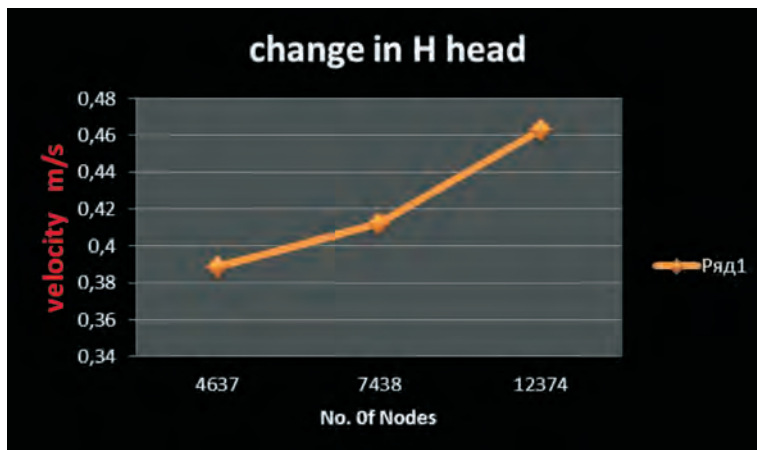


Figure 5 – Example of a case when we change the water pressure

2) D diameter of the orifice at the outlet

Depending on the diameter of the outlet hole, its velocity also changes.

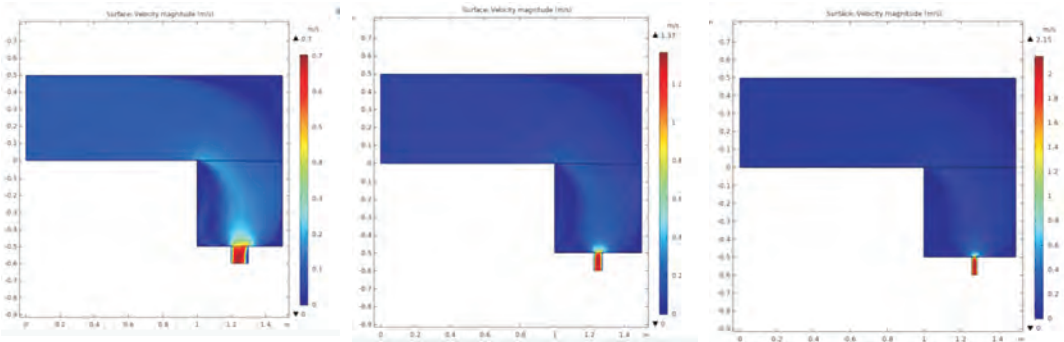


Figure 6 – The case when $D1=0.1\text{m}$ and $D2=0.05$, $D2=0.03\text{m}$

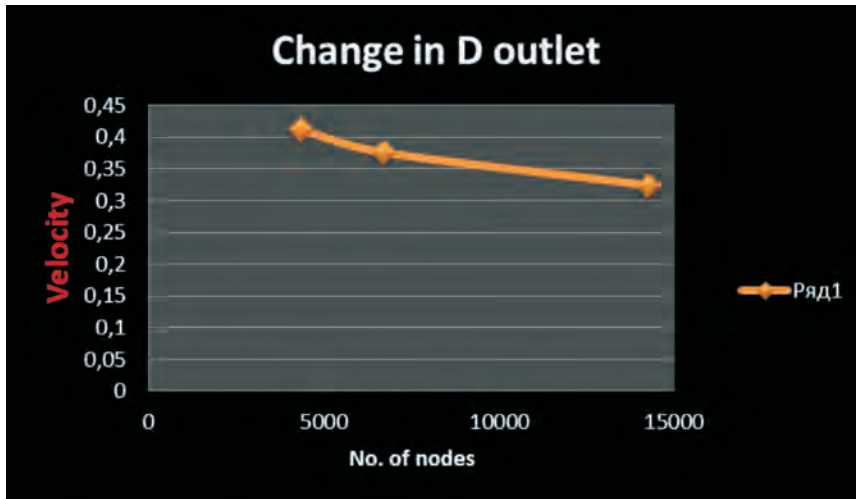


Figure 7 – Example of a case when we change the diameter of a hole

3) D diameter of the turbine itself

Depending on the diameter of the turbine itself, its speed also changes:

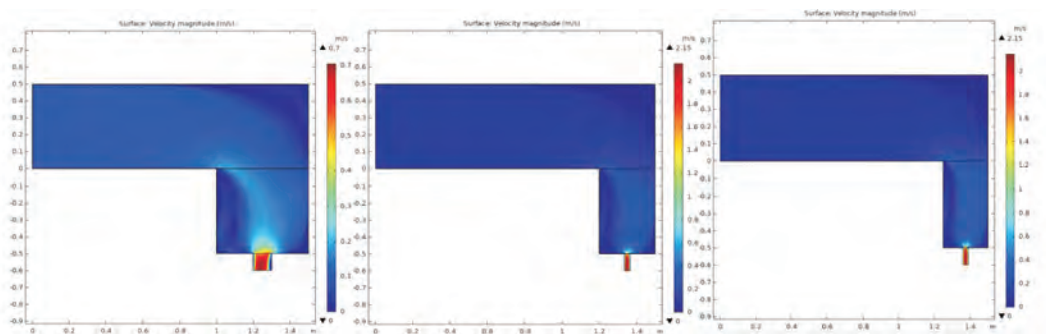


Figure 8 – Case when $D \text{ turbine} = 0.5\text{m}$ and $D \text{ turbine} = 0.3$, $D \text{ turbine} = 0,2\text{m}$

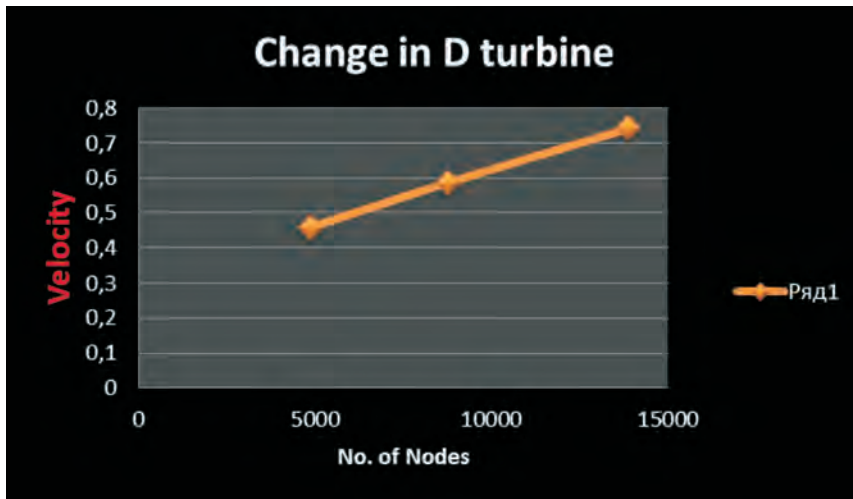


Figure 9 – Example of the case when we change the turbine diameter

Changing the dimensions of this cylindrical view of the turbine and examining it in Comsol multiphysics, it is easily possible to determine which parameters will be optimal for further research, i.e. by changing certain parameters we can see how the flow rate changes, thus we can say that the efficiency of this mini power plant directly depends on its speed, the more speed, the more it is optimum. And it will be possible to modulate the top 2D view of the mini-HPP when we already know the optimal dimensions and in this case we will already consider the angular velocity of the flow, and it in turn directly depends on the turbine inlet throat from the channel. And so from the above data we can say that the best option for a cylindrical turbine is:

H head > 0, 5m, D outlet = 0,1m, D turbine = 0,2m

Using this data, we will consider the top view. To do this we change:

H neck = 0,1m, H neck = 0,05m, H neck = 0,03m

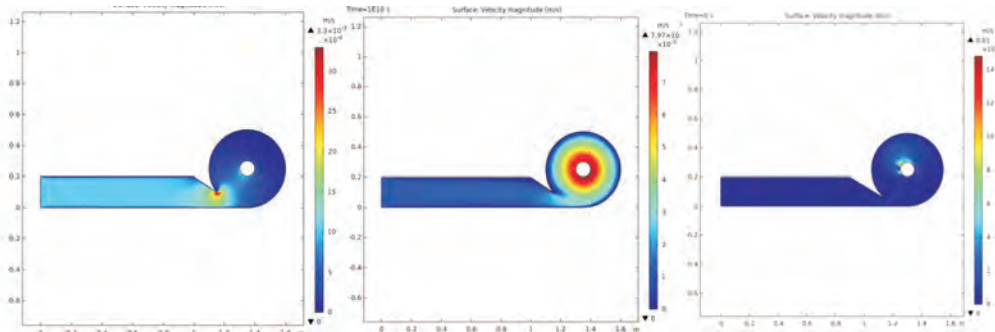


Figure 10 – Turbine cylindrical view module, top view

In the next turn we will consider the conical view of the turbine and exactly the same change of parameters such as:

D turbine, H head (with the same dimensions as in the cylindrical form)

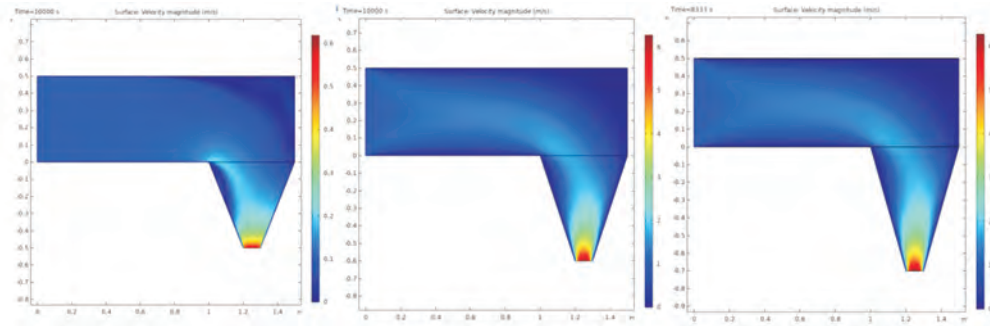


Figure 11 – The case when H1=0.5m and H2=0.6m, H3=0.7m

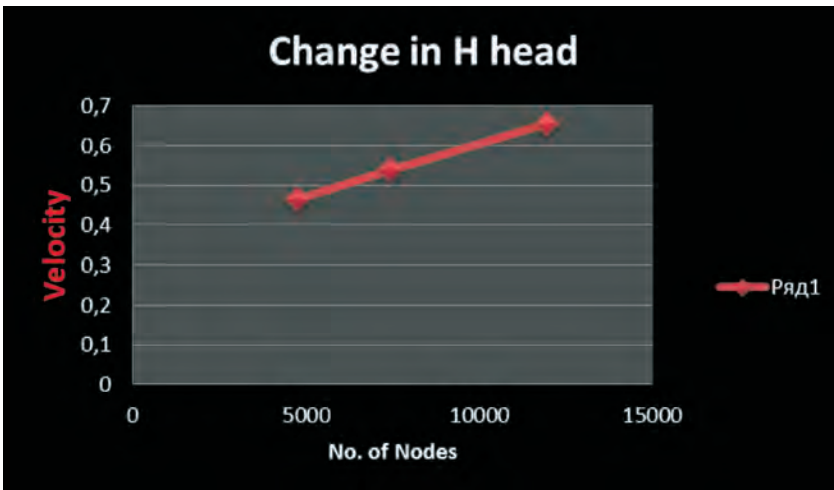


Figure 12 – Example of the case when we change the water pressure

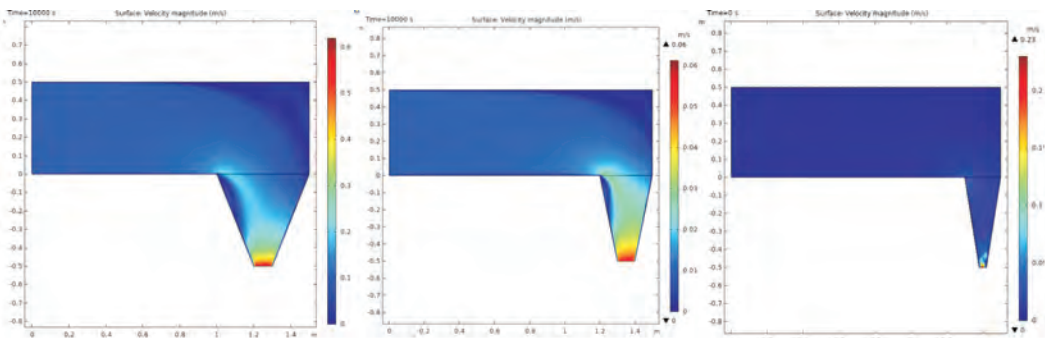


Figure 13 – Case when D turbine = 0.5m and D turbine = 0.3, D turbine = 0.2m

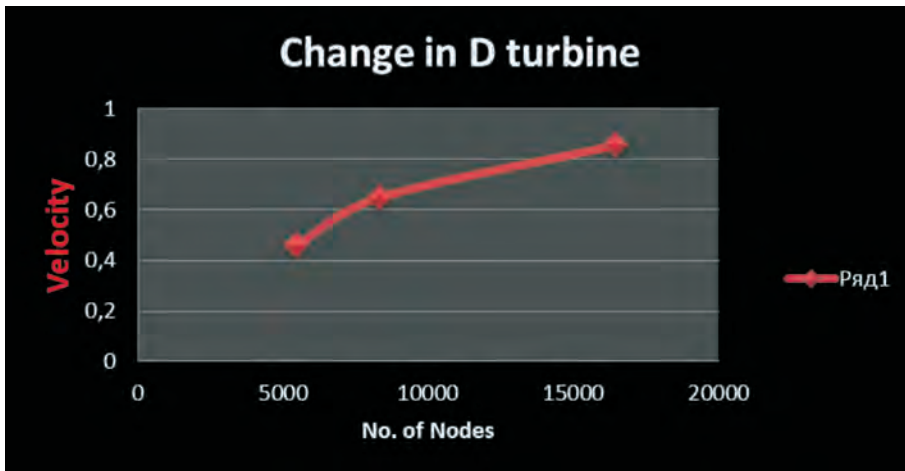


Figure 14 – Example of the case when we change the turbine diameter

But it should be noted that for the real design of this mini-HPP we can not take a very small turbine diameter because at high speed will be reverse flow of water, which will complicate the rotation of the turbine.

Also for the conical turbine type, change the H neck as shown in Figure-10:

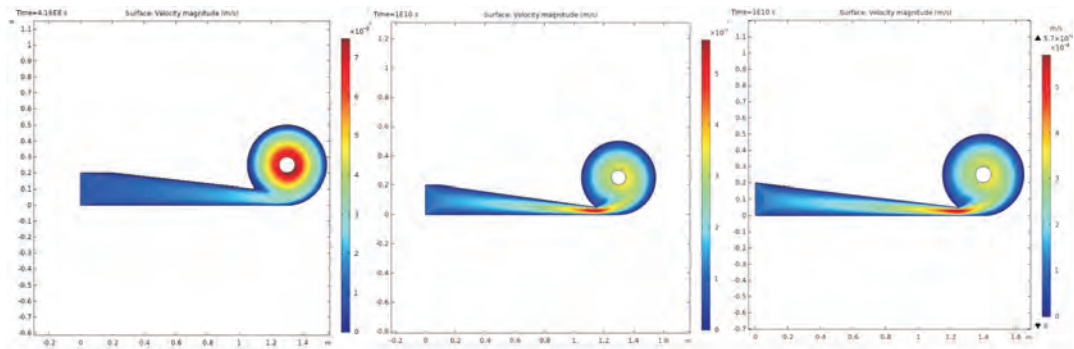


Figure 15 – Module of the conical turbine view, top view

Conclusion. In this paper, considering two kinds of turbine and with different size parameters, we have a sense of how the design should look like. If we look at the difference between the two kinds of turbine, the most optimal will be the conical kind of turbine, in this case we can note that the flow rate will be much higher and this kind of turbine will be conveniently streamlined and there will not be considered obstacles and reverse chaotic flow. It is possible to see the difference between the cylindrical and conical type of turbine on the figure-16, 17, 18:

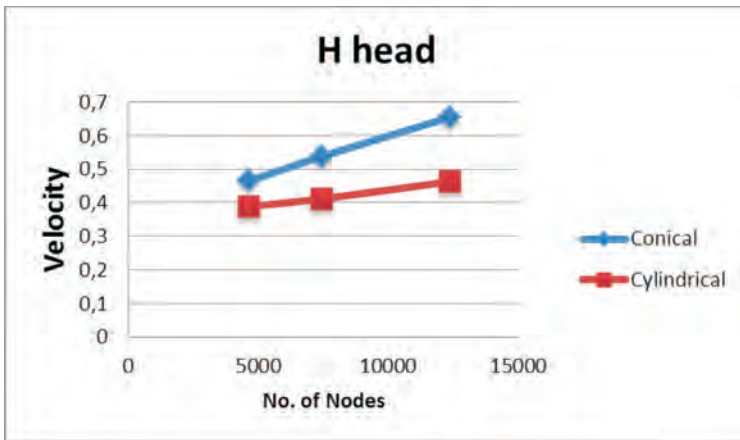


Figure 16 – Difference between the two types of turbine in water head

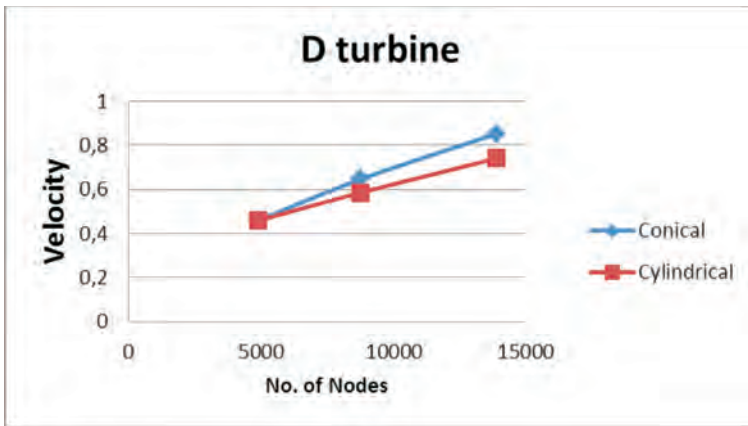


Figure 17 – Difference between the two types of turbine in diameter

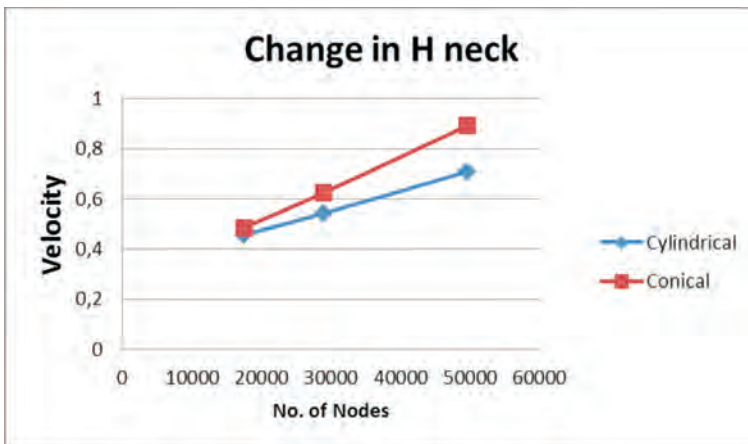


Figure 18 – Difference between the two types of turbine in the inlet throat from the canal

Optimal position of the turbine H head > 0,5 m from the pool height, turbine diameter D turbine = 0,2m, also outlet diameter D outlet = 0,1m. Moreover, if we consider the top view, then the optimal solution for the inlet size from the canal would be in the conical shape of the turbine H neck = 0.03m. The maximum efficiency varies from 30% to 50% depending on the number and size of the blades. The study also showed that a conical shaped basin has a better performance than a cylindrical shaped basin.

Kazakhstan has significant hydropower potential. On the territory along with 6 large rivers, there are also about 27 thousand small rivers and tributaries, the length of which exceeds 10 km mark. Developed by scientists of the Republic some designs of small and mini HPPs were presented at the exhibition EXPO 2017 (Astana) and received the approval of experts[6].

REFERENCES

- 1 <https://rosatom-centralasia.com/journalist/smi-about-industry/mini-ges-v-kazakhstan/> [Accessed: 09.05.2021]
- 2 <https://ecotechnica.com.ua/energy/voda/3137-novaya-vodovorotnaya-turbina-sdelaet-gidroenergetiku-po-nastoyashchemuzelenoj.html> [Accessed: 09.05.2021]
- 3 Sagar Dhakal, Rabin Dhakal, Ashesh Babu Timilsina, "Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant", 2015
- 4 Md Mizanur Rahman, Fadzlita Mohd Tamiri, Tan Jian Hong, "Experimental Study the Effects of Water Pressure and Turbine Blade Lengths and Numbers on the Model Free Vortex Power Generation System"
- 5 M. M. Rahman1, J. H. Tan1, M.T. Fadzlita1, A. R. Wan Khairul Muzammil, "A Review on the Development of Gravitational Water Vortex Power Plant as Alternative Renewable Energy Resources", 2017
- 6 Paul Breeze, "in Power Generation Technologies" (Third Edition), 2019, 1-5

Д. Е. ТУРАЛИНА, А. М. АРШАБЕКОВА

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
Gmail: arshabekovaaimer@gmail.com*

COMSOL MULTIPHYSICS ПАКЕТІНДЕ CFD МОДУЛІН ПАЙДАЛАНЫП АЙНАЛМА ШАҒЫН ГЭС-ТІ ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада энергия көзі тапшы аймақтар мен үлкен ГЭС (ГидроЭлектроСтанция) плотиналарынан кейінгі су каналдарына қойылатын шағын ГЭС қондырғысын зерттеу жұмысы қарастырылды, нақтырақ айтқанда COMSOL Multiphysics пакетінде CFD модулін пайдаланылып айналмалы шағын ГЭС зерттелді.

Бұл құрылғыны зерттеудің басты себебі біздің мемлекетіміздің электр көзі тапшы, орталық аудандардан шетте орналасқан аймақтарды қуат көзімен қамтамасыздандыру мәселесі болып табылады, сонымен қатар ТМД мемлекеттерінде бұл ГЭС-тің түрі аз зерттелген, оның бірден-бір себебі отандық осындай құрылғыларды құратын орындардың аздығы мен баламалы энергия көзінің аз қолданылуы, тек айтатын болсақ соңғы жылдары ғана осы баламалы энер-

гия тақырыбын сөз етіп, ұлттық қордан қаражат бөлінуде. Ал мысалы Батыс Еуропа, Япония, Қытай мемлекетінде дәл осы шағын ГЭС құрылғысын шығаратын бірнеше компаниялар бар.

Түйін сөздер: ГЭС(ГидроЭлектроСтанция), баламалы энергия, цилиндр пішінді турбина, конустық пішінді турбина.

Д. Е. ТУРАЛИНА, А. М. АРШАБЕКОВА

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Gmail: arshabekovaaigerim@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОВОРОТНОЙ МИНИ-ГЭС С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ CFD В СРЕДЕ COMSOL MULTIPHYSICS

В данной статье рассматриваются исследования оборудования малой ГЭС (ГидроЭлектроСтанция) для водных каналов после крупных плотин и энергодефицитных территорий, в частности, исследование водоворотной Мини ГЭС с помощью модуля CFD в среде COMSOL Multiphysics.

Основная причина изучения данного устройства – проблема электроснабжения в районах нашей страны с дефицитом электроэнергии, расположенных за пределами центральных районов, а в странах СНГ этот тип ГЭС изучен слабо из-за отсутствия конструкционной техники и сравнительно малое использование альтернативных источников энергии в целом. Лишь в последние годы из Национального фонда были выделены средства для решения этой проблемы альтернативной энергетики.

Например, в Западной Европе, Японии и Китае есть несколько компаний, которые производят эту малую ГЭС.

Ключевые слова: ГЭС(ГидроЭлектроСтанция), альтернативная энергия, турбина цилиндрической формы, турбина конической формы.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.056.55: 003.26

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.102>

А. А. КУЛЬЖАНОВА*, Д. Р. РАХИМОВА, Т. И. БАКИБАЕВ

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
Алматинский Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан
akbota.kulzhanova1594@gmail.com, di.diva@mail.ru,
@gmail.com, timurbakibayev@gmail.com*

ПРОБЛЕМЫ ПРОЦЕССА БЛОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ

В данной статье рассматривается анализ существующих методов шифрования и механизмов данных во избежание возможности проблемы частичного обновления данных в больших файлах. Например, нам нужно идентифицировать идентичные блоки без возможности расшифровать данные. Мы сталкиваемся с проблемой, когда файлы зашифрованы разными ключами, то зашифрованные версии будут разными. Также стоит проанализировать и выбрать наилучший алгоритм шифрования для шифрования и дешифрования файлов. В данной статье мы обращаем внимание на безопасность системы. Наилучшим решением является разработка системы шифрования и дешифрования файлов, которое позволяет хранить файлы, как и на локальном компьютере, так и на различных носителях, что и является результатом данной статьи, чтобы оптимизировать эффективность шифрования, скорость передачи данных, скорость обработки изменений файлов, необходимых для хранения файлов в пространстве.

Ключевые слова: *безопасность облачных вычислений, конфиденциальность, безопасность данных, дедупликация, шифрование.*

Введение. С развитием технологий развивается и информация. Миллиарды людей по всему миру имеют дело с терабайтами данных. Из-за роста информации растет и необходимость в ее защите и обработке. Помимо обработки и защиты возникают трудности с записью и размещением информации. Иногда использование мощных серверов приводит к увеличению затрат, но это не решает всей проблемы [1].

Сегодня существует множество алгоритмов для шифрования и дешифрования данных. Но и с ними возникает проблема избыточности данных, например, если два разных пользователя загрузили один и тот же файл, нет смысла хранить обе копии, так как избыточный файл занимает место, вследствие чего мы имеем просто ненужную копию. В данном случае необходимо определить идентичные блоки без возможности дешифрования данных. В этом случае проблема усугубляется тем, что если файлы были зашифрованы разными ключами, зашифрованные версии будут разными. Одно

* E-mail корреспондирующего автора: akbota.kulzhanova1594@gmail.com

из хороших решений - метод горизонтального масштабирования. В этом случае необходимо увеличить емкость хранилища, время отклика, пропускную способность [2, 3,5].

Теперь у нас увеличилась потребность в хранении данных по сравнению с предыдущими годами. Облачное хранилище помогает удовлетворить эту потребность, предоставляя пользователям расширенную емкость и доступ. Дедупликация данных – обычная практика для поставщиков облачных услуг. Дедупликация данных – это процесс, в котором должны быть идентифицированы идентичные копии пользовательских данных, а все остальные копии, кроме одной, должны быть удалены. Это сделано для уменьшения накладных расходов на хранилище. Но здесь одна проблема – конфиденциальность информации [4].

Перед тем как использовать те же облачные хранилища, мы не задумываемся о безопасности наших данных. Наша цель в будущем – обеспечить безопасность данных в импровизированном облаке, при этом избегая избыточности данных. Первоначальной задачей являлся выбор правильного алгоритма шифрования и разработки дешифратора, шифратора файлов для дальнейшей интеграции в облако.

С развитием цифровых устройств и спросом на них на рынке выросла потребность потребителей в доступе к своим данным из любого места и в любое время. По мере роста потребителей и объемов данных управление информацией становится дорогостоящим и сложным и возникает большой риск кражи информации. Стремительный рост использования Интернета, хранения и защиты данных требует новых способов управления данными, таких как размер, разнообразие и доступность. Это то, что делают облачные вычисления [6].

Облачные вычисления используются для предоставления ресурсов потребителям в качестве услуги, к которой потребитель может получить доступ через Интернет. Это упрощает работу, поскольку больше не нужно много оборудования для хранения всех данных. Человек, работающий с облачными вычислениями, больше не зависит от инфраструктуры, которая полностью контролируется поставщиком услуг [8, 9].

Что касается безопасности, то на данный момент это большая проблема для всех информационных технологий. Когда безопасность используется в неконтролируемой среде, такой как облачные вычисления, эта проблема усугубляется. Понимание того, что существуют риски безопасности, связанные с использованием облачных вычислений, дает нам понимание того, что инструменты безопасности должны быть улучшены. Риски в облачных вычислениях связаны с открытыми, общими и распределенными средами. Для более глубокого понимания природы рисков следует провести полный анализ этих рисков. Анализ рисков предполагает разделение существующих проблем и проблем, которые были получены в результате облачных вычислений [4, 5, 6].

Как уже упоминалось, традиционная инфраструктура отличается от инфраструктуры облачных вычислений. Мы заинтересованы в повышении безопасности облачных инфраструктур, а также в повышении безопасности данных. Отличительные характеристики облачных инфраструктур от традиционных инфраструктур позволяют обнаруживать все больше и больше проблем безопасности данных, связанных с характеристиками облака и жизненным циклом облачных данных. Но также эти данные могут принести много неудобств, которые вызваны ухудшением безопасности [7].

Рассмотрим, как вычисления происходят в облаке. Процесс выглядит следующим образом: пользователь отправляет свои данные в дата-центр. Затем данные доставляются на виртуальные машины, которые выполняют параллельные вычисления. После окончания обработки данных пользователи получают доступ к данным. В ходе этого процесса возможна утечка личных или конфиденциальных данных [7].

Исходя из этих фактов, существует три состояния данных в облаке. Первое состояние – это состояние покоя данных или данных, которые находятся в процессе сохранения или предварительной обработки данных. Второе состояние – данные в процессе передачи, это уже переходное состояние. Третье и последнее состояние – это данные, которые можно использовать, то есть имеются данные, к которым есть доступ и которые можно легко обработать. Безопасность данных, конфиденциальность данных и использование данных охватывают все три аспекта. Для обеспечения безопасности и целостности данных на всех этапах жизненного цикла данных могут быть реализованы различные механизмы и меры, которые могут быть предприняты заранее или во время обработки данных [10]. О мерах и технологиях обеспечения безопасности данных в облачных вычислениях мы поговорим в следующей части.

Существующие проблемы. Нет уверенности, что все вышеперечисленное полностью удовлетворительно и обеспечивает полную защиту, но у нас есть начальные этапы составления и обоснование, которые полностью отражают понимание облачных архитектур. Было сказано, что технологии не стоят на месте и развиваются, но, к сожалению, на данный момент у нас нет такой услуги, которая соответствовала бы нашим условиям. Почему это происходит? Потому что для крупных компаний это не совсем выгодно. Изучив материал, становится понятно, что описания этой проблемы практически нигде нет, что учит необходимости придумывать и совершенствовать технику и безопасность.

У нас есть несколько проблем с безопасностью, таких как:

1. Владельцы облака предоставляют свои решения для шифрования. Отсюда идет защита только от неавторизованных пользователей, но доступ к данным имеет сам владелец, что является одной из проблем.

2. Также есть проблемы с памятью. Чаще всего забивается архив или сам контейнер, который был зашифрован. При смене данных возникают некоторые неудобства, приходится скачивать громкий файл целиком.

3. Многие путают понятие защиты канала связи и облака, думая, что VPN защитит все их файлы и избавит от всех неприятностей.

4. Многие программы на рынке сами шифруют файлы, получая их из облака. Но в этом случае необходимо загрузить копию на свой локальный компьютер, что также может быть чрезвычайно неудобным из-за полной памяти локального компьютера. Поработав с данными (зашифрованными), эти данные возвращаются из программы в облако, что тоже крайне неудобно.

Методология исследования. В своей работе мы используем простые криптографические примитивы и методы защиты данных. Например, блочное шифрование. Блочное шифрование служит основным строительным блоком в нашей работе. Существует множество примеров использования блочных шифров для защиты данных [11, 12].

Предположим, что у нас уже есть некий файл в облаке. Но как насчет шифрования данных? Основная цель шифрования данных – защитить информацию от посторонних. Что мы и делаем в наших исследованиях. Для достижения этих целей

необходим грамматический метод работы с данными, которые содержат три этапа по текстовым блокам [13]. Этот метод работает с простыми операциями, основанными на генерации ключей. Мы решаем сразу три задачи: во-первых, мы можем создавать файлы, не опасаясь за свою безопасность; во-вторых, мы используем довольно простой алгоритм шифрования; и третье – самое важное преимущество состоит в том, что у нас есть фактор случайности, который помогает избежать кражи и нанесения ущерба нашим данным.

При традиционном подходе шифрование происходит следующим образом – информация шифруется вместе с ключом, и только после этого ее можно передать в облачное хранилище. Мы уже упоминали, что это одна из проблем, потому что мы просто заполняем память нашего хранилища, тем самым усложняя процесс быстрой обработки данных. Это дает еще одну проблему: если были загружены два одинаковых файла, то мы просто не можем это определить. Наш подход помогает избежать этого без ущерба для безопасности, что доказывает эффективность этого метода для безопасного хранения информации в облаке [14].

Когда пользователь использует дедупликацию данных, ее можно выполнить перед загрузкой в облако или после загрузки данных в хранилище, то есть на стороне сервера. Кроме того, дедупликация имеет различные уровни детализации, здесь мы говорим об уровнях файла или блока. У обоих методов есть свои плюсы и минусы. При более внимательном рассмотрении на уровне файлов сравниваются первые два файла – файл системы хранения для проверки и файл на уровне дедупликации, чтобы убедиться, что тот же файл еще не существует. Чаще всего используется механизм дедупликации на стороне клиента, поскольку он позволяет избежать проблем с загрузкой сети и пропускной способностью. Если мы говорим об отсутствии дедупликации на уровне файла, небольшое изменение в файле приводит к повторному восстановлению всего файла, что нарушает технику дедупликации. Тогда ситуацию можно спасти измененным блоком на уровне блока, а не всего файла. Здесь мы пытаемся добиться лучшей производительности сети, потому что индексы, сгенерированные для идентификации файла, ниже при дедупликации на уровне файла.

Важным фактором в нашем исследовании являются алгоритмы поиска изменений на примере git. Рассмотрите возможность внесения изменений в репозиторий. Допустим, у вас есть некоторые изменения данных в вашем репозитории Git, также есть копия этих данных. Процесс изменения и фиксации состояния в виде снимков этих изменений в репозитории происходит каждый раз, когда у нас нет состояния, которое мы хотим сохранить. Данные, хранящиеся в файле, могут быть двух типов: отслеживаемые и неотслеживаемые. Отслеживаемые файлы – это файлы, о которых знает Git. Остальные – это неотслеживаемые файлы. Во время первого клонирования репозитория файлы будут иметь статус отслеживаемых и немодифицированных, потому что Git только что их проверил, а мы ничего не редактировали. Только после редактирования данных Git будет считать их измененными. Цикл довольно простой, первые изменения файла индексируются, затем записываются все проиндексированные изменения. И этот цикл повторяется каждый раз, когда вы делаете коммит [15].

Перед нами стояла задача подобрать правильный алгоритм шифрования, который был бы достаточно устойчивым. Выбор пал на алгоритм AES-256. AES является симметричным алгоритмом блочного шифрования. По результатам тестирования данный алгоритм является широко используемым в данное время. Кроме того, является улучшенной версией DES.

Почему именно блочное шифрование? Мы используем его по причине того, что процедуры шифрования и дешифрования идентичны, но они будут отличаться лишь порядком действий. Данное свойство помогает во многом, например, при создании устройства шифрования, потому что используются одни и те же блоки для шифрования и дешифрования данных. Именно из-за гибкости блочного шифрования он является наилучшим решением для его использования в наших целях. Еще одним большим преимуществом блочного шифрования является его способность зашифровывать одним и тем же ключом один или несколько файлов. Также выбор симметричного алгоритма шифрования обосновывается его быстротой по сравнению с асимметричными алгоритмами. И симметричный алгоритм более надежен, так как получатель сообщения должен знать секретный ключ, который нужно вернуть уже по определенному зашифрованному каналу. Первым делом нужен непосредственно сам файл с данными (рисунок 1). Далее с помощью программы шифратора-дешифратора указываем путь к данному файлу, шифруем его (рисунок 2) и получаем зашифрованный файл (рисунок 3). Также можно и дешифровать ранее зашифрованный файл, используя хранилище ключей.



Рисунок 1 – Файл до шифровки данных.

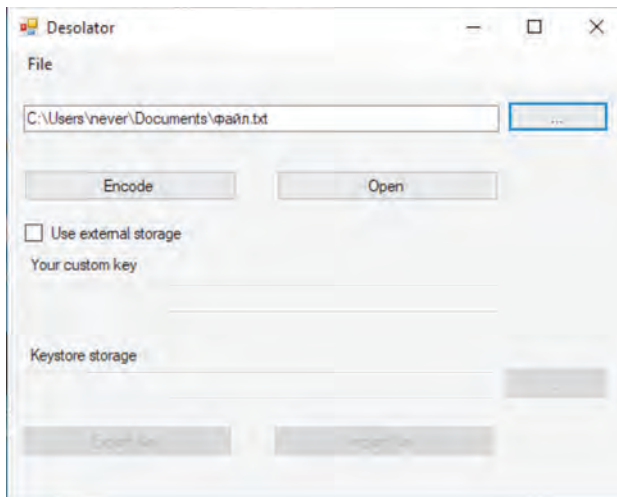


Рисунок 2 – Процесс шифрования данных.

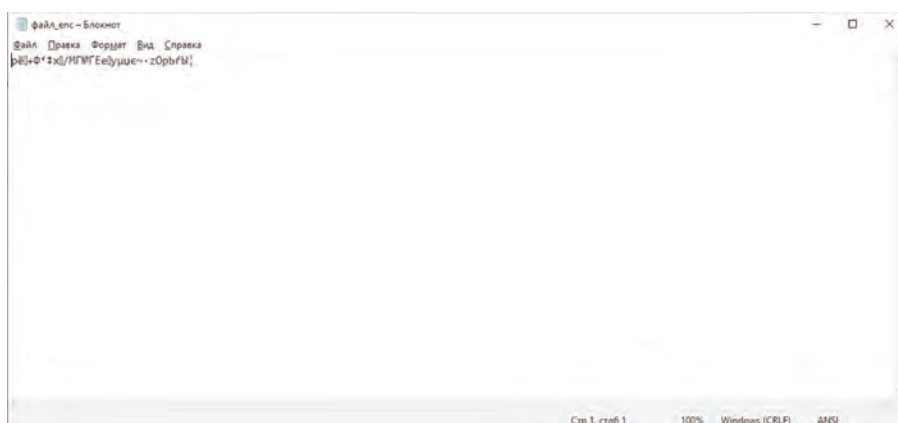


Рисунок 3 – Файл, прошедший процесс шифровки

Дедупликация уменьшает объем пространства, необходимого для определенного набора файлов. В настоящее время в области облачных вычислений существует несколько способов смягчения атак и, таким образом, защиты данных. Простой пример кражи данных – опасность дублирования на стороне клиента. Мошенник может получить доступ к данным, просто угадав хеш-функцию. Чтобы всего этого избежать и снизить вероятность кражи, злоумышленнику предлагается способ подтверждения проверки. То есть клиент проверяет свои данные, что позволяет минимизировать кражу данных или взлом. И, наконец, когда дело доходит до беспокойства клиента о безопасности данных, хранящихся в базе данных поставщика, также не нужно опасаться, что поставщик сможет увидеть данные, поскольку файл будет зашифрован.

Заключение. В процессе написания статьи были изучены механизмы и методы шифрования файлов в облачных системах, существующие методы дедупликации данных в облачных системах, а также был написан шифратор и дешифратор файлов.

Дальнейшие ожидаемые действия:

Наша будущая работа включает разработку импровизированного облака, в котором будет позволено вносить изменения в исходный код без полного изменения зашифрованной версии файла. На сервер будут отправляться только зашифрованные изменения, экономя трафик и время. Будут учтены современные методы дедупликации данных в облаке.

ЛИТЕРАТУРА

1 Чжан Ю., Сюй С., Шэнь Х. С. Безопасность данных в облачном хранилище. – Спрингер, 2020. – С. 1-171.

2 Кача Л., Зитуни А. Обзор безопасности данных в облачных вычислениях //Труды по вычислительным методам в системах и программном обеспечении. – Спрингер, Чам, 2017. – С. 250-261.

3 Альбугми А. и др. Безопасность данных в облачных вычислениях //Пятая Международная конференция 2016 года по коммуникационным технологиям будущего поколения (FGCT). – IEEE, 2016. – С. 55-59.

4 Чжан Ю., Сюй С., Шэнь Х. С. Безопасность данных в облачном хранилище. – Спрингер, 2020. – С. 1-171.

5. Ахмед Х. А. С. и др. Обзор проблем и рисков безопасности облачных вычислений // Журнал телекоммуникаций, электронной и вычислительной техники (JTEC). – 2017. – Т. 9. – №. 1-2. – С. 87-91.

6 Латиф Р. и др. Оценка рисков облачных вычислений: систематический обзор литературы // Информационные технологии будущего. – Спрингер, Берлин, Гейдельберг, 2014. – С. 285-295.

7 Амато Ф. и др. Повышение безопасности в облаке путем формального моделирования ресурсов IaaS // Компьютерные системы будущего поколения. – 2018. – Т. 87. – С. 754-764.

8 Садику М. Н.О., Муса С. М., Момох О. Д. Облачные вычисления: возможности и проблемы // Потенциал IEEE. – 2014. – Т. 33. – №. 1. – С. 34-36.

9 Арора Р., Парашар А., Преобразование С. С. I. Защищенных пользовательских данных в облачных вычислениях с использованием алгоритмов шифрования // Международный журнал инженерных исследований и приложений. – 2013. – Т. 3. – №. 4. – С. 1922-1926

10 Ван К. и др. Публичный аудит с сохранением конфиденциальности для безопасного облачного хранилища // Письма по компьютерной архитектуре IEEE. – 2013. – Т. 62. – №. 02. – С. 362-375.

11 Сухак М. и др. Удаленный аудит данных в средах облачных вычислений: обзор, таксономия и открытые проблемы // ACM Computing Surveys (CSUR). – 2015. – Т. 47. – №. 4. – С. 1-34.

12 Ворку С. Г. и др. Безопасная и эффективная схема публичного аудита с сохранением конфиденциальности для облачных хранилищ // Компьютеры и электротехника. – 2014. – Т. 40. – №. 5. – С. 1703-1713.

13 РОЙ, Чандрима; ПАНДЕЙ, Манджуша; СВАРУПРАУТАРАЙ, Сиддхартх. Предложение по оптимизации узла данных путем горизонтального масштабирования узла имени с использованием инструментов больших данных. В: 2018 3-я Международная конференция по конвергенции технологий (I2CT). IEEE, 2018. стр. 1-6.

14 ААКИБ, Сайед Мутахар. Эффективный Кластерный подход для оценки вертикальной и горизонтальной масштабируемости веб-серверов с использованием линейных и нелинейных рабочих нагрузок. В: 2019 3-я Международная конференция по тенденциям в области электроники и информатики (ICOEI). IEEE, 2019. стр. 287-291.

15 Чжан Ю., Сюй С., Шэнь Х. С. Безопасная дедупликация // Безопасность данных в облачных хранилищах. – Спрингер, Сингапур, 2020. – с. 55-86.

REFERENCES

- 1 Zhang Y., Xu C., Shen X. S. Data Security in Cloud Storage. – Springer, 2020. – С. 1-171.
- 2 Kacha L., Zitouni A. An overview of data security in cloud computing // Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software. – Springer, Cham, 2017. – С. 250-261.
- 3 Albugmi A. et al. Data security in cloud computing // 2016 Fifth International Conference on Future Generation Communication Technologies (FGCT). – IEEE, 2016. – С. 55-59.
- 4 Zhang Y., Xu C., Shen X. S. Data Security in Cloud Storage. – Springer, 2020. – С. 1-171.
- 5 Ahmed H. A. S. et al. A review of challenges and security risks of cloud computing // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC). – 2017. – Т. 9. – №. 1-2. – С. 87-91.
- 6 Latif R. et al. Cloud computing risk assessment: a systematic literature review // Future information technology. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. – С. 285-295.

7 Amato F. et al. Improving security in cloud by formal modeling of IaaS resources //Future Generation Computer Systems. – 2018. – Т. 87. – С. 754-764.

8 Sadiku M. N. O., Musa S. M., Momoh O. D. Cloud computing: opportunities and challenges // IEEE potentials. – 2014. – Т. 33. – №. 1. – С. 34-36.

9 Arora R., Parashar A., Transforming C. C. I. Secure user data in cloud computing using encryption algorithms //International journal of engineering research and applications. – 2013. – Т. 3. – №. 4. – С. 1922-1926

10 Wang C. et al. Privacy-preserving public auditing for secure cloud storage //IEEE Computer Architecture Letters. – 2013. – Т. 62. – №. 02. – С. 362-375.

11 Sookhak M. et al. Remote data auditing in cloud computing environments: a survey, taxonomy, and open issues //ACM Computing Surveys (CSUR). – 2015. – Т. 47. – №. 4. – С. 1-34.

12 Worku S. G. et al. Secure and efficient privacy-preserving public auditing scheme for cloud storage //Computers & Electrical Engineering. – 2014. – Т. 40. – №. 5. – С. 1703-1713.

13 ROY, Chandrima; PANDEY, Manjusha; SWARUPRAUTARAY, Siddharth. A proposal for optimization of data node by horizontal scaling of name node using big data tools. In: 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT). IEEE, 2018. p. 1-6.

14 AAQIB, Syed Mutahar. An Efficient Cluster-Based Approach for Evaluating Vertical and Horizontal Scalability of Web Servers using Linear and Non-Linear Workloads. In: 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI). IEEE, 2019. p. 287-291.

15 Zhang Y., Xu C., Shen X. S. Secure Deduplication //Data Security in Cloud Storage. – Springer, Singapore, 2020. – p. 55-86.

А. А. КУЛЬЖАНОВА, Д. Р. РАХИМОВА, Т. И. БАКИБАЕВ

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы., Қазақстан
Алматы Менеджмент Университеті, Алматы., Қазақстан*

ДЕРЕКТЕРДІ БЛОКТЫҚ ШИФРЛАУ ПРОЦЕСІНІҢ ПРОБЛЕМАСЫ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚАУІПСІЗДІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ОНЫҢ ҚОЛДАНЫСЫ

Бұл мақалада үлкен көлемді файлдарда деректерді ішінара жаңарту мәселесін болдырмау мақсатында қолданыстағы шифрлау әдістері мен мәліметтердің тетіктерінің талдауы қарастырылады. Мысалы, біз деректерді шифрды ашуға мүмкіндігі жоқ бірдей блоктарды анықтауымыз керек. Бізде файлдар әр түрлі кілттермен шифрланған болса, онда шифрланған нұсқалар әр түрлі болады деген мәселеге тап болдық. Сондай-ақ, файлдарды шифрлау және дешифрлеу үшін шифрлаудың ең жақсы алгоритмін талдауға және таңдауға тұрарлық. Бұл мақалада біз жүйенің қауіпсіздігіне назар аударамыз. Ең жақсы шешім - шифрлаудың тиімділігін, деректерді беру жылдамдығын оңтайландыру үшін файлдарды компьютерде де, әр түрлі тасымалдағыштарда сақтауға мүмкіндік беретін файлдарды шифрлау және дешифрлеу жүйесін дамыту, ол осы мақаланың нәтижесі болып табылады.

Түйін сөздер: *бұлтты есептеу қауіпсіздігі, құпиялылық, деректердің қауіпсіздігі, қосарландыру, шифрлау.*

A. A. KULZHANOVA, D. R. RAKHIMOVA, T. I. BAKIBAYEV

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan*

**PROBLEMS OF THE BLOCKED DATA ENCRYPTION PROCESS
AND ITS APPLICATION FOR INCREASING DATA SECURITY**

This article examines the analysis of existing encryption methods and data mechanisms in order to avoid the possibility of the problem of partial data refresh in large files. For example, we need to identify identical blocks without the ability to decrypt the data. We are faced with the problem that if files are encrypted with different keys, then the encrypted versions will be different. It is also worth analyzing and choosing the best encryption algorithm for encrypting and decrypting files. In this article, we pay attention to the security of the system. The best solution is to develop a file encryption and decryption system that allows you to store files both on a local computer and on various media, which is the result of this article, in order to optimize the encryption efficiency, data transfer speed, and the speed of processing file changes necessary for storing files in space.

Keywords: *cloud computing security, privacy, data security, deduplication, encryption.*

**M. E. MANSUROVA, O. A. POSTOLACHE, N. A. ZHOLDAS,
T. S. SARSEMBAEVA, S. SH. IXANOV***

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
ISCTE – University Institute of Lisbon, Lisbon, Portugal
mansurova.madina@gmail.com, octavian.postolache@gmail.com, zh.nurassyl@gmail.
com, sarsembayeva.talshyn@gmail.com, Iks74@mail.ru*

MONITORING SYSTEM FOR YOUNG DIABETES PATIENTS

The article describes the structures for monitoring the health status of patients with diabetes mellitus. Many systems are known for measuring and monitoring blood sugar levels. The list of tasks they solve includes monitoring blood glucose levels and physical activity, diet and insulin consumption. The capabilities of the Internet of Things (IoT), information and communication technologies and machine learning can help reduce the cost of healthcare and the organization of online medical services. Methods such as predicting blood glucose levels and simulating blood glucose dynamics are important in developing technologies for monitoring patients with diabetes. Increasing access to patient data has paved the way for the adoption of machine learning and its use in diabetes management. Machine learning's ability to solve complex problems has contributed to his success in the study of diabetes. The number of patients with diabetes mellitus among children is growing in the world, therefore, the observation of young patients is one of the hot topics. Therefore, this review aims to find the optimal structure for monitoring the health status of young patients with diabetes mellitus.

Keywords: *diabetes mellitus, glucose control, Internet of Things, machine learning.*

Introduction. The healthcare industry is constantly evolving and offers a wide range of research opportunities. Development is carried out using technologies and applications of the Internet of Things (IoT). They combine information and communication technologies (ICT), sensors, big data sets, machine learning techniques, and artificial intelligence. New technologies are used for continuous monitoring of patients with chronic diseases, the number of which has been increasing in recent years [1].

Machine learning methods allow with high accuracy to automatically determine mathematical models of these dependencies from the obtained arrays of interdependent quantities, as a result of which it is possible to predict the development of the disease and the patient's condition with high accuracy based on various psychological factors and parameters of vital activity. Models expose dependencies between inputs and outputs.

Chronic diseases require long-term treatment. Patients with chronic diseases usually spend long periods of time in the hospital for daily follow-up. Diabetes mellitus is a chronic disease associated with dysfunction of the pancreas that occurs when the correct levels of insulin are not produced (type 1 diabetes, T1D) or the body does not use insulin properly (type 2 diabetes, T2D) [1].

The main concern of a patient with diabetes mellitus is to constantly monitor blood glucose levels. Methods for controlling these levels are divided into three: invasive, minimally invasive and non-invasive [2]. The invasive method is one of the most used approaches because it provides the most accurate results in direct contact with the patient's blood. Finger pricking is a traditional procedure in this method. Measurements must be

* E-mail корреспондирующего автора: Iks74@mail.ru

carried out in a strict cleaning regime, otherwise infections may occur [2, 3]. Body fluids such as saliva, urine, sweat, or tears have been studied as non-invasive glucose tests, but they cannot be used to continuously monitor glucose levels.

Review of known technical solutions. The article [4] describes a system of long-term monitoring of glucose levels in the subcutaneous tissue in a small group of people with diabetes. It uses a fully implanted first-generation sensor prototype / telemetry system. The devices remained implanted for 180 days, with signals transmitted every 2 minutes to external receivers. The proposed system demonstrates its ability for continuous long-term glucose monitoring.

The article [5] proposes a blood glucose monitoring system using a Wireless Body Area Network. One part of this network is the meter sensor, which measures the approximate concentration of glucose in the blood. The system uses an Arduino Uno board and a Zigbee module. The results of the study show that remote monitoring of patient glucose can be achieved using desktop, mobile and web applications. One of the disadvantages of the proposed system is that it is not energy efficient. This is due to the high power consumption of the Arduino Uno board and Zigbee module.

Three main components of an IoT-based health monitoring system: a network of sensors, gateways connected to the Internet, support for cloud and big data (Figure 1). The data collected by users from the connected sensors will be available to caregivers, family members and authorized persons, which will allow them to check the vital signs of the subject at any time from anywhere [6].



Figure 1 – General health monitoring system based on IoT [6]

The article [7] presents the architecture of the monitoring system for patients with diabetes mellitus. The system architecture consists of three main components: sensor modules, data acquisition module and database server. In this system, sensors collect information about the user's vital functions and transmit it via Bluetooth to a mobile application. The mobile app sends this data to the database via 4G or Wi-Fi. The monitoring system analyzes the data collected from the sensors. When the system detects an abnormal situation, the doctor will be notified to look at the mobile application and determine its cause.

The article [8] presents a deep learning model that is able to predict glucose levels with high accuracy. A multilayer convolutional recurrent neural network (CRNN) architecture was used to predict glucose levels (Figure 2). The architecture of a convolutional recurrent neural network consists of three parts: a multilayer convolutional neural network; recurrent

neural network (RNN) with long-term short-term memory (LSTM) cells and fully connected layers. LSTM shows good performance in forecasting time series with long time dependences [9]. The convolutional recurrent neural network model is implemented using the TensorFlow library.

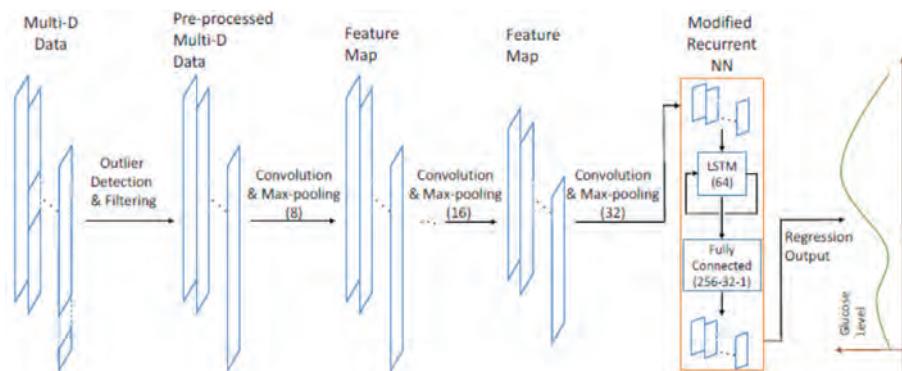


Figure 2 – CRNN architecture for glucose prediction [8]

The article [10] presents a mobile application showing data about a patient and indicators of his health. The patient receives consultations depending on the state of health.

Proposed monitoring system. Based on the study of the structures contained in the articles discussed above, it is possible to propose a generalized (universal) system for monitoring the health status of young (children and adolescents) patients with diabetes mellitus.

The monitoring system records various health-related actions of users. The main idea of the system is to collect data on the vital functions of patients with diabetes using sensors and analyze this data for an individual rehabilitation program. Machine learning methods can be used to predict future changes in health status.

It is proposed to take as a basis the structure of a general health monitoring system based on IoT in article [6] and the architecture of a monitoring system for patients with diabetes mellitus in article [7]. The system can be improved by adding other patient indicators (glycated hemoglobin level, blood fructosamine level) that can be useful in predicting blood glucose levels. The main stages of the proposed system can be divided into four stages (Figure 3).

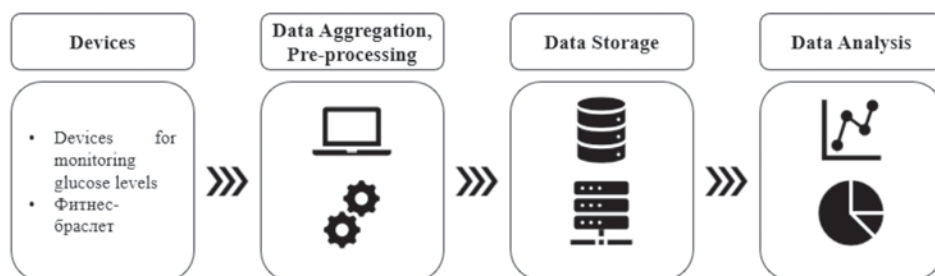


Figure 3 – Stages of the monitoring system

The authors recommend using the following sensors: a glucose meter for measuring glucose levels and a fitness bracelet for measuring physical activity. To measure the physical activity of the patients, the Xiaomi Mi Band 5 fitness bracelet was chosen, and to collect glucose data, the iPro2 MMT-7745WW continuous glucose monitoring system, the Enlite MMT-7008A glucose sensor, the Enlite MMT-7510 sensor insertion device and the dock will be used -station (Figure 4). The data from the sensors are transferred to a database and analyzed to compile an individual rehabilitation program.



Figure 4 – a) Enlite MMT-7008A; b) Docking station; c) Enlite MMT-7510; d) iPro2 MMT-7745WW; e) Xiaomi Mi Band 5

Fitness bracelet Xiaomi Mi Band 5 can measure the patient's pulse, activity (number of steps, calories), stress level (Figure 5). The data is stored in the Mi Fit mobile application with the ability to export for analysis. Figure 6 shows data from glucose monitoring devices.



Figure 5 – Data of the Mi Fit mobile application: a) heart rate; b) steps

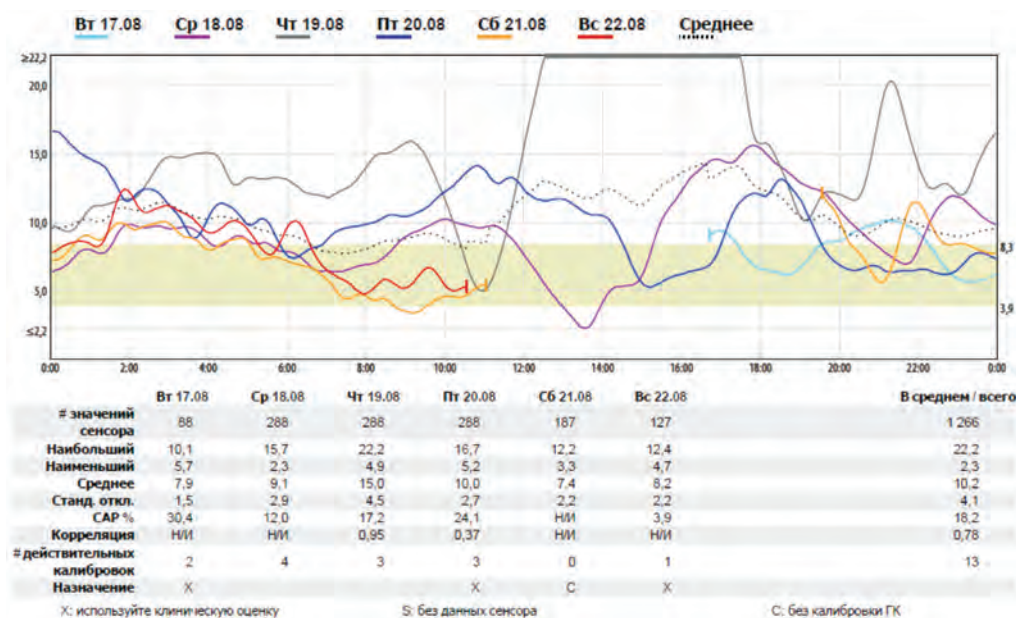


Figure 6 – Data from Medtronic iPro2

A prototype of a mobile application will be developed that allows receiving data on the user's vital functions from sensors, information entered by the user (gender, height, age, etc.) and a personalized rehabilitation program. Glucose prediction is based on a machine learning method. The mobile application serves as a tool for monitoring the health status of patients with diabetes.

A personalized rehabilitation program for patients with diabetes is physical activity and exercise. Children and adolescents with type 1 and 2 diabetes should engage in moderate to vigorous aerobic activity for 60 minutes a day or more to strengthen muscles and bones at least three days a week [11]. Weight loss reduces the risk of cardiovascular disease and improves glycemic control [12].

Conclusion. The article showed that by integrating sensor devices with a monitoring system, it is possible to collect and analyze a complete history of data on the user's vital functions (heart rate, number of steps and blood glucose level). Work continues to predict blood glucose levels based on the user's vital functions collected by sensor devices. The development of a new system is aimed at using it for the treatment and monitoring of the health status of young patients. It is expected that the results of this study will be used by patients with diabetes mellitus.

REFERENCES

- 1 Rghioui, Lloret, Parra, Sendra, & Oumnad. (2019). Glucose Data Classification for Diabetic Patient Monitoring. *Applied Sciences*, 9(20), 4459. doi:10.3390/app9204459
- 2 Salam, N.A.B.A.; bin Mohd Saad, W.H.; Manap, Z.B.; Salehuddin, F. The evolution of non-invasive blood glucose monitoring system for personal application. *JTEC* 2016, 8, 59–65.

3 Frontino, G., Meschi, F., Bonfanti, R., Rigamonti, A., Battaglino, R., Favalli, V., Bonura, C., Ferro, G., & Chiumello, G. (2013). Future perspectives in glucose monitoring sensors. *European Endocrinology*, 9(1), 6-11.

4 Lucisano, J. Y., Routh, T. L., Lin, J. T., & Gough, D. A. (2017). Glucose Monitoring in Individuals With Diabetes Using a Long-Term Implanted Sensor/Telemetry System and Model. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 64(9), 1982–1993. <https://doi.org/10.1109/TBME.2016.2619333>

5 Rasyid, M.U., Saputra, F., & Christian, A. (2016). Implementation of blood glucose levels monitoring system based on Wireless Body Area Network. *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*, 1-2.

6 Rahmani, Amir M. & Nguyen gia, Tuan & Negash, Behailu Shiferaw & Anzanpour, Arman & Azimi, Iman & Jiang, Mingzhe & Liljeberg, Pasi. (2017). Exploiting Smart E-Health Gateways at the Edge of Healthcare Internet-of-Things: A Fog Computing Approach. *Future Generation Computer Systems*. 78. 10.1016/j.future.2017.02.014.

7 Rghioui, A., Lloret, J., Harane, M., & Oumnad, A. (2020). A Smart Glucose Monitoring System for Diabetic Patient. *Electronics*, 9(4), 678. doi:10.3390/electronics9040678

8 K. Li, J. Daniels, C. Liu, P. Herrero and P. Georgiou, "Convolutional Recurrent Neural Networks for Glucose Prediction," in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 24, no. 2, pp. 603-613, Feb. 2020, doi: 10.1109/JBHI.2019.2908488.

9 Heaton, Jeffrey. (2017). Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning: The MIT Press, 2016, 800 pp, ISBN: 0262035618. Genetic Programming and Evolvable Machines. 19. 10.1007/s10710-017-9314-z.

10 Alfian, G., Syafrudin, M., Ijaz, M., Syaekhoni, M., Fitriyani, N., & Rhee, J. (2018). A Personalized Healthcare Monitoring System for Diabetic Patients by Utilizing BLE-Based Sensors and Real-Time Data Processing. *Sensors*, 18(7), 2183. doi:10.3390/s18072183

11 Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., Horton, E. S., Castorino, K., & Tate, D. F. (2016). Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes care*, 39(11), 2065–2079. <https://doi.org/10.2337/dc16-1728>

12 Klein, S., Sheard, N. F., Pi-Sunyer, X., Daly, A., Wylie-Rosett, J., Kulkarni, K., Clark, N. G., American Diabetes Association, North American Association for the Study of Obesity, & American Society for Clinical Nutrition (2004). Weight management through lifestyle modification for the prevention and management of type 2 diabetes: rationale and strategies: a statement of the American Diabetes Association, the North American Association for the Study of Obesity, and the American Society for Clinical Nutrition. *Diabetes care*, 27(8), 2067–2073. <https://doi.org/10.2337/diacare.27.8.2067>

**М. Е. МАНСУРОВА, О. А. ПОСТОЛАЧЕ, Н. А. ЖОЛДАС,
Т. С. САРСАМБАЕВА, С. Ш. ИКСАНОВ**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
ISCTE – Лиссабон университеттік институты, Лиссабон, Португалия*

ҚАНТ ДИАБЕТИ БАР ЖАС ПАЦИЕНТТЕРДІ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІ

Мақалада қант диабеті бар пациенттердің денсаулық жағдайын бақылаудың құрылымдары сипатталған. Қандағы қант деңгейін өлшеуге және бақылауға арналған көптеген жүйелер белгілі. Олар шешетін тапсырмалардың тізіміне қандағы глюкоза деңгейін және физикалық белсенділікті,

диетаны және инсулиннің қабылдануын бақылау кіреді. Заттар ғаламторының (IoT), ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың және машиналық оқытудың мүмкіндіктері денсаулық сақтау мен онлайн медициналық қызметтерді ұйымдастырудағы шығындарды төмендетуге мүмкіндік береді. Қандағы глюкоза деңгейін болжау және оның динамикасын модельдеу сияқты әдістер қант диабеті бар пациенттерді бақылау технологияларын құрастыруда маңызды болып табылады. Пациенттер туралы деректерге қол жетімділіктің артуы машиналық оқытуды енгізуге және оны қант диабетін емдеуде қолдануға жол ашты. Машиналық оқытудың күрделі мәселелерді шешу қабілеті оның қант диабетін зерттеудегі жетістіктеріне ықпал етті. Әлемде балалар арасында қант диабеті бар пациенттердің саны артып келеді, сондықтан жас науқастарды бақылау өзекті тақырыптардың бірі болып табылады. Сондықтан, бұл шолу қант диабеті бар жас пациенттердің денсаулық жағдайын бақылау үшін оңтайлы құрылымды табуға бағытталған.

Түйінді сөздер: қант диабеті, глюкоза деңгейін бақылау, Заттар ғаламторы, машиналық оқыту.

**М. Е. МАНСУРОВА, О. А. ПОСТОЛАЧЕ, Н. А. ЖОЛДАС,
Т. С. САРСАМБАЕВА, С. Ш. ИКСАНОВ**

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
ISCTE – Университетский институт Лиссабона, Лиссабон, Португалия*

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЮНЫХ ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

В статье описаны структуры контроля состояния здоровья пациентов с сахарным диабетом. Известно множество систем для измерения и контроля уровня сахара в крови. Перечень решаемых ими задач включает в себя контроль уровня глюкозы в крови и физической активности, диеты и потребления инсулина. Возможности интернета вещей (IoT), информационно-коммуникационных технологий и машинного обучения позволяют снизить затраты на здравоохранение и организацию онлайн-медицинских услуг. Такие методы, как прогнозирование уровня глюкозы в крови и моделирование ее динамики, имеют важное значение при разработке технологий для мониторинга пациентов с сахарным диабетом. Увеличение доступа к данным о пациентах проложило путь к внедрению машинного обучения и использованию его в лечении диабета. Способность машинного обучения решать сложные задачи способствовала его успехам в изучении диабета. В мире растет число пациентов с сахарным диабетом среди детей, поэтому наблюдение за молодыми пациентами является одной из актуальных тем. Поэтому данный обзор направлен на поиск оптимальной структуры для мониторинга состояния здоровья молодых пациентов с сахарным диабетом.

Ключевые слова: сахарный диабет, контроль уровня глюкозы, Интернет вещей, машинное обучение.

А. А. ТАТЫГУЛОВ, А. Ш. ГИЗАТУЛИНА*

Проектная Академия KAZGOR, г. Алматы, Республика Казахстан

Aidar.Tatygulov@kazgor.kz, Assiya.Gizatulina@kazgor.kz

ВІМ – ОБРАЗОВАНИЕ В КАЗАХСТАНЕ: ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ КАЧЕСТВЕННОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ РК

В статье рассмотрены вопросы качественной, комплексной подготовки специалистов строительной отрасли в вузах РК. Это одна из ключевых проблем, напрямую оказывающая влияние на скорость, сроки и качество внедрения современных технологий информационного моделирования (ВІМ) в казахстанских компаниях. Проведен небольшой обзор существующих подходов и программ для бакалавров, магистрантов, а также пост-профессионального образования, применяемых в Великобритании и в России. Предложен новый, практико-ориентированный подход к системе подготовки кадров по направлению ВІМ-проектирования в высших учебных заведениях Казахстана. Предложения, представленные в данной статье, сформулированы с учетом мнения практикующих ВІМ-специалистов. В результате практического применения предложенных рекомендаций и методик обучения в архитектурно-строительных вузах и на профильных факультетах строительная отрасль получит высококвалифицированных, подготовленных к новым реалиям специалистов и управленцев.

Ключевые слова: *технологии информационного моделирования (ВІМ), профессиональная подготовка кадров по теме ВІМ, ВІМ-образование, ВІМ-менеджер, ВІМ-координатор.*

Введение. С началом эпохи цифровизации современный мир сильно изменился. Цифровизация так или иначе затронула все отрасли экономики. Однако, когда в одних отраслях изменения происходят огромными скачками, в других, таких как строительство и проектирование цифровые технологии внедряются намного медленнее. Одна из прогрессивных и наиболее актуальных для строительства технологий – это Building Information Modeling (ВІМ). Информационное моделирование зданий или ВІМ, согласно определению Национального проектного комитета США по стандартам информационного моделирования зданий — это цифровое представление физических и функциональных характеристик объекта. ВІМ — это общий ресурс знаний для получения информации об объекте, который служит надежной основой для принятия решений в течение его жизненного цикла, который определяется как существующий от самой ранней концепции до сноса.[1] Строительный объект является единым целым. Изменение его настроек влечет за собой автоматическое изменение других связанных параметров и объектов, вплоть до чертежей, визуализаций, спецификации и графика процессы.

Сегодня информационное моделирование выходит за пределы 3D-параметров. К основным пространственным измерениям добавляются показатели времени (4D), стоимости (5D), а также показатели устойчивости и энергоэффективности зданий (6D) и эксплуатация здания (7D).

Технологии ВІМ позволяют добиться снижения количества ошибок в проектной документации, сокращения времени проектирования, сокращения сроков координа-

* E-mail корреспондирующего автора: assiya.gizatulina@kazgor.kz

ции и согласования документации, реализации проекта, сроков строительства, сокращения затрат на строительство и эксплуатацию (рис 1.)



Рисунок 1 – Преимущества BIM (по информации из открытых источников)

Активное развитие и внедрение BIM началось в 90-х годах прошлого века в развитых странах, таких как Великобритания, США, страны Европейского союза, Сингапур, Австралия. В процессе внедрения была проделана огромная работа: разработано большое количество методологических документов, издано множество научных статей по этой теме, которые позволяют изучить опыт этих стран, понять, что работает, что не работает, и избежать аналогичных ошибок. Сейчас в этих странах применение BIM для крупных инфраструктурных объектов является обязательным. Помимо требований к проектным и строительным компаниям, большое внимание уделяется вопросам профессиональной подготовки и переподготовки проектировщиков, специалистов строительной индустрии и BIM специалистов. Наличие компетентных специалистов влияет на уровень развития и зрелости BIM в организации и в отрасли в целом.

На территории стран СНГ интерес к BIM впервые появился в начале 2000-х годов, а применять информационное моделирование зданий в реальных проектах начали примерно в 2008-2010 г.г. За последнее десятилетие уже появились компании с хорошим опытом и выполненными проектами с использованием BIM. Это подтверждается реальными исследованиями по уровню применения BIM: Исследование компании «Конкуратор», Россия в 2017 и 2019г.г. и исследование «Национальной Ассоциации проектировщиков РК», Казахстан в 2020 году. Согласно этим исследованиям 22% российских компаний и 21% казахстанских компаний уже применяют BIM в реальных проектах. [2], [3] Важно отметить, что в авангарде внедрения новых технологий находятся проектные компании, которые хотят быть конкурентноспособными и интересными для иностранных инвесторов.

Учитывая растущий опыт применения и интерес отрасли к новым технологиям, был принят ряд решений на государственном уровне. Так, в России в 2016 г. предложили сделать обязательным применение BIM-технологии при проектировании всех

объектов, которые финансируются за счет средств госбюджета. А в Казахстане в 2017 году по заказу Комитета по делам строительства и ЖКХ была разработана концепция внедрения технологии информационного моделирования в промышленное и гражданское строительство Республики. Казахстанские проектные компании заинтересованы во внедрении BIM, но одна из основных сложностей – это дефицит квалифицированных BIM специалистов, способных выполнять проекты в 3D на высоком уровне[3]. Проектные компании готовы оказать поддержку вузам в подготовке таких специалистов, участвовать в качестве экспертов при разработке образовательных программ, предлагать стажировку студентам проектировщикам.

В данной статье проведен краткий обзор существующих подходов и программ для бакалавров, магистрантов, а также пост-профессионального образования, применяемых в Великобритании и в России. Далее приводятся рекомендации по разработке образовательных программ по теме BIM, основанные на предложениях реальных практикующих специалистов, имеющих в своем портфолио участие в более 20 проектах, выполненных с применением BIM.

Современные требования к специалистам строительной отрасли. С развитием новых технологий в проектировании и строительстве начали появляться новые профессии, такие как BIM – менеджер, BIM – координатор, BIM – мастер и другие. Наличие квалифицированных специалистов является одним из важных факторов, влияющих на внедрение и применение BIM в компаниях. В вышеупомянутых исследованиях по BIM, было отмечено, что 73% участников российского исследования и 44% респондентов казахстанского исследования отмечают дефицит квалифицированных специалистов как одно из основных препятствий для внедрения BIM. [2], [3] (рис 2.)



Рисунок 2 – Что препятствует активному внедрению BIM в проектных компаниях РК

BIM-специалист – это новая уникальная профессия. Эти специалисты должны владеть не только фундаментальными знаниями и навыками, но и иметь хороший технических бэкграунд. Им необходимы навыки работы в различных программах и навыки создания BIM модели, ряд важнейших управленческих компетенций, таких как работы в команде, управление командой, навыки переговоров, организаторские способности.

На сегодняшний день в Европе и в России обучение BIM-технологиям – это не просто подготовка кадров, а четко проанализированный план с учетом потребностей рынка. Для вузов, которые только планируют включать BIM в образовательный процесс, рекомендуется опираться на опыт зарубежных коллег и уделить отдельное внимание изучению подходов и методик. В статье рассмотрены несколько примеров программ Европы и России.

Рассмотрим одну из крупнейших международных образовательных магистерских программ, спонсируемых Европейским союзом – «BIM A+» [4].

Цель «BIM A+» – предложить расширенную образовательную программу по интегрированным процессам проектирования, строительства и эксплуатации BIM с упором на совместную работу, которая является краеугольным камнем такой интеграции.

Эта программа – отличный образец в плане наполнения курса. Курс проводят преподаватели из разных европейских стран. Они являются практикующими специалистами, делятся не только теоретическими знаниями, но и практическим опытом.

Уровень профессорско-преподавательского состава играет существенную роль в подготовке будущих профессионалов. Благодаря сочетанию формальных лекций, семинаров, презентаций, учебных пособий, групповых учебных сессий и модулей, проводимых под руководством ППС, исследователей и ведущих практиков отрасли, программа обучения познакомит студентов с теоретическими, методологическими, практическими и технологическими аспектами BIM. Студенты смогут исследовать переходное влияние BIM на реализацию проекта на протяжении всего его жизненного цикла, чтобы понять истинный потенциал BIM на проектном и организационном уровне, а также ограничения и проблемы, с которыми сталкиваются проектировщики при внедрении BIM. Кроме того, студенты имеют возможность выполнять командные задачи и мероприятия, аналогичные тем, которые специалисты BIM будут выполнять в реальной практике. Например, сообщать о преимуществах BIM на уровне проекта и организации, а также разрабатывать план реализации проекта BIM, основанный на глубоком понимании государственных и международных стандартов BIM.

В России большая часть крупнейших технических вузов уже внесли BIM в программу обучения студентов. Однако, учитывая, что развитие BIM в России отстает от западных стран примерно на 10-15 лет [5] и по уровню внедрения и применения и в уровне подготовки преподавательского состава многие вузы налаживают контакты с западными университетами и проектными компаниями с целью создания совместных образовательных проектов в области информационного моделирования. Далее приведены несколько примеров подобных программ.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет включил BIM – моделирование в программу кафедры Информационных технологий

[6], а также является организатором ежегодной международной научно-практической конференции «BIMAC». В рамках сотрудничества СПбГАСУ (Россия) и университета LAB (Финляндия) был создан проект BIM-ICE – интеграция BIM в высшее и профессиональное образование» (BIM-ICE – BIM Integration in Higher and Continuing Education) [5]. Из статьи можно сделать выводы, что проект предполагает большую работу по созданию учебной документации и учебно-методических материалов, организацию и проведение различных студенческих конкурсов, BIM-мероприятий, совместную работу студентов над реализацией BIM моделей, проведение семинаров, круглых столов и конференций для студентов. Все это стимулирует интерес студентов и преподавателей к повышению своей квалификации, расширению теоретической базы по проектированию и изучению прогрессивных подходов, практическому применению знаний и навыков.

Другой пример совместного образовательного проекта между студентами Санкт-Петербургского политехнического университета (Россия) и Технического университета Граца (Австрия) приведен в статье Романович М. А. «Опыт создания цифровой модели здания в рамках международной образовательной программы на платформе BIM 360» [7]. В описанном проекте приняли участие более 50 студентов первого курса магистратуры вышеуказанных университетов. Целью проекта было создание BIM-модели существующего многофункционального здания. Студенты были разделены на группы по специальностям (архитекторы и инженеры), работы курировались BIM менеджером и координаторами в каждой группе. Все работы проводились с использованием ПО REVIT, в среде общих данных BIM 360, а также с применением 3DsMax и InfraWorks для визуализации, NavisWorks для проверки модели на коллизии. В ходе работы над проектом студенты на практике увидели процессы проверки модели, исправления коллизий, загрузки обновлений. Одно из выделенных преимуществ проекта – это возможность учащимся выбирать задачи, наиболее соответствующие их интересам и опыту, и самостоятельно перераспределяться в команды для работы над крупными блоками. Это позволило студентам попробовать себя в новом качестве и освоить дополнительные навыки [7].

Еще один пример качественного подхода к организации обучения по теме BIM – это программа профессиональной переподготовки «Разработка и управление проектом с технологией BIM» разработанная в университете ИТМО, г. Санкт-Петербург. [8] Программа состоит из нескольких модулей: от основ информационного моделирования до управления BIM-проектами и организации BIM-процессов. Занятия проводят как преподаватели Университета ИТМО, так и специалисты предприятий-партнеров вуза, которые ведут курсы, сфокусированные на практическом применении BIM-технологий. После прохождения программы выпускники становятся дипломированными специалистами по специальностям BIM-координатор и BIM-менеджер.

Российские исследователи также изучают вопросы развития BIM-образования в России. Авторы статьи [9] предлагают практико-ориентированный подход к обучению BIM. Особое внимание авторы обращают на важность сотрудничества между вузами и другими учебными заведениями с ключевыми игроками по разработке ПО и оборудования для проектировщиков, а также с компаниями-интеграторами, имеющими практический опыт разработки и внедрения BIM.

Таким образом, можно сделать выводы, что при организации образовательных программ по теме BIM важно сбалансированное сочетание теории и практики, а также инициирование и развитие программ обмена и совместных проектов с зарубежными университетами. Информационное моделирование зданий вносит фундаментальные изменения в архитектурную, инженерную и строительную отрасли и оказывает существенное влияние на требования к образовательному процессу по соответствующим направлениям. Необходимы изменения в учебных планах и программах учебных дисциплин, разработка новых образовательных программ также востребована.

Предложения по программам обучения студентов по теме BIM для вузов РК. Проведя ряд консультаций с практикующими специалистами ПА KAZGOR, были подготовлены рекомендации для вузов по организации образовательного процесса и по разработке обучающих программ для студентов по теме BIM. Предложения и рекомендации затрагивают пять важных аспектов:

1. Материально-техническая база.
2. Подготовка ППС.
3. Теоретическая подготовка и владение ПО, применяемого при работе с BIM-проектами.
4. Практика и практические задания и работы.
5. Взаимодействие и обмен опытом с зарубежными университетами и учебными заведениями.
6. Участие в конференциях, форумах, семинарах по теме BIM.

1. Материально-техническая база. Большинство технических вузов, которые занимаются подготовкой будущих кадров для строительной отрасли имеет оборудованные компьютерные классы. Однако уровень материально-технического обеспечения часто недостаточен для работы в BIM среде. Для таких специалистов необходимы отдельные классы с мощными компьютерами и специализированным программным обеспечением.

2. Подготовка ППС. Подготовка и привлечение преподавательского состава – это важнейший фактор, от которого во многом зависит качество образовательной программы и востребованность будущих выпускников. Здесь есть два важных аспекта. Первое – единое целостное понимание BIM у всех преподавателей, второе – связь с практикой.

Чтобы достичь единого понимания BIM у преподавателей вуза можно предложить внедрение небольшого BIM-теста. Примером аналогичной проверки знаний по теме BIM можно привести BIM-зачет, который используется для сотрудников Проектной Академии KAZGOR. У всех заинтересованных сотрудников есть доступ к материалам для подготовки к BIM-зачету и, таким образом, все специалисты компании придерживаются единую терминологию и опираются на одинаковые источники знаний.

Связь с практикой. При формировании ППС рекомендуется отдельное внимание уделить наличию в составе признанных экспертов в области BIM и специалистов практиков, которые смогут составить программу с учетом понимания потребностей отрасли. Кроме этого, очень важно регулярное обновление знаний по BIM. Технология постоянно меняется и эволюционирует, появляются новые знания. Если говорить

о привлечении специалистов практиков, это могут быть специалисты – консультанты по внедрению BIM, практикующие BIM-менеджеры, которые будут готовы делиться знаниями. Если нет возможности приглашать практиков и экспертов на постоянной основе, рекомендуется включать в программу мини-курсы или мастер-классы от BIM-специалистов. В современных реалиях дополнительное образование и программы повышения квалификации стали намного ближе. Огромное количество обучающих программ доступно в онлайн-формате. Ниже приведены несколько современных продвинутых платформ и курсов, обучение по которым проходили специалисты ПА KAZGOR.

Курсы от stepik.org:

1) «Информационное моделирование зданий» – курс посвящён изучению технологии информационного моделирования зданий на примере программы Autodesk Revit Architecture.

2) «Проектирование механических инженерных систем в Autodesk Revit» – в данном курсе подробно рассказывается о работе в Autodesk Revit по созданию механических инженерных систем. В курсе рассмотрены темы: моделирование, создание библиотек компонентов, формирование комплектов чертежей и спецификаций, расчёты инженерных систем.

3) «Проектирование конструкций зданий в Autodesk Revit» – вводный курс Autodesk Revit по проектированию несущих конструкций зданий, оформлению чертежей и документации.

4) BIM Planet No1. Знакомство с Dynamo – курс посвящен основам работы в Dynamo - плагине по визуальному программированию, широко востребованном разработчиками информационных моделей зданий в среде Autodesk Revit.

Курсы от udeemy.org:

1) «Autodesk Revit. Полный функционал программы»

2) «BIM 4D Simulations Autodesk Revit, Dinamo, Navisworks & Max»

Указанные платформы и курсы могут быть интересны и преподавателями, в целях повышения квалификации и как примеры качественных обучающих программ для студентов, и могут быть рекомендованы студентам для самостоятельного изучения. Тем более, на различных образовательных платформах есть большое количество бесплатных курсов, а стоимость платных курсов, проходящих в онлайн формате, значительно ниже, чем стоимость живых форматов обучения.

3. Теоретическая подготовка и владение ПО, применяемого при работе с BIM проектами. Помимо обязательных профильных знаний по специальности, современному специалисту необходимы знания в следующих областях:

Общие навыки.

- VR AR
- Английский язык
- Управление проектами
- Управленческие навыки или softskills – работа в команде, управление командой, навыки ведения переговоров, эффективные коммуникации и другое.

Теория.

- BIM – история, основные концепции, термины, стандарты.

● Понятия среда общих данных, облачные системы, IFC, большие данные, умные города.

- Фотограмметрия и технологии Облака точек.
- Понятие энергоэффективности в проектно-строительной отрасли.
- Знания об альтернативных источниках энергии.
- Еврокоды.
- Современные навыки и подходы к проектированию зданий и сооружений.

Технические навыки.

Современное ПО, используемое в проектно-строительной отрасли для разработки BIM-проектов.

Программные и аппаратные технологии, такие как алгоритмическое и параметрическое моделирование.

ПО для устойчивого экологического проектирования и энергоэффективных решений.

4. Практика. Кроме теоретических и технических знаний и навыков, будущие проектировщики должны иметь возможность применять свои знания на практике. Практическая часть должна стать неотъемлемым элементом образовательных программ. Практико-ориентированный междисциплинарный подход может применяться для студентов всех уровней и специализаций и его необходимо внедрять в образовательный процесс. Один из современных форматов, позволяющих студентам отработать знания на практике – это работа междисциплинарных студенческих командах. Состав команд может быть схож с организационной структурой проектной организации и включать в себя такие специальности, как архитектор-проектировщик, конструктор, инженер, BIM-менеджер, BIM-координатор, BIM-разработчик, возможно специалисты-смежники. В таком проекте каждый студент сможет работать над отдельным разделом проекта или совмещать разные роли. Преподаватель в такой группе может занимать роль главного инженера и/(или) архитектора проекта. Такой формат работы будет способствовать лучшему пониманию процесса информационного моделирования и принципов совместной работы над проектом. По окончании практической работы команда представляет цифровую модель здания. Этот формат рассчитан на достаточно длительное сотрудничество и совместную работу студентов и преподавателей и в большей степени подходит для старших курсов.

Для студентов, изучающих BIM, полезно больше участвовать в студенческих курсах, конференциях, семинарах по этой теме. В рамках конкурсов студенты могут пробовать применять свои знания на практике, видеть работы других студентов, понимать, что нужно улучшать и куда расти.

Другой, давно применяемый формат – это производственная практика, когда студенты выпускных курсов, приходя на практику в архитектурную, проектную или инженерную компанию, работают над реальными проектами под руководством опытных специалистов практиков. Здесь на первое место выходит взаимодействие вуза с проектными и строительными компаниями, которые применяют BIM в реальных проектах и заинтересованы будущих молодых специалистах со знанием BIM. Такие компании могут быть не только местом прохождения практики, но и обеспечить будущее трудоустройство выпускников.

Чтобы обеспечить высокий уровень и связь с практикой, вузы могут налаживать взаимодействие компаниями, которые выполняют реальные проекты в BIM для обмена опытом и знаниями. Один из вариантов – проводить тестирование студентов по теме BIM с привлечением специалистов практиков. Такие тестирования помогут выявить возможные пробелы в знаниях, помочь оперативно скорректировать образовательную программу.

5. Взаимодействие и обмен опытом с зарубежными университетами и учебными заведениями. Описанные выше примеры взаимодействия российских вузов с зарубежными университетами [5,6] позволяют предположить значительную пользу подобных совместных проектов. Современные технологии и средства коммуникации позволяют участникам общаться не только с помощью электронной почты и пересылкой файлов, но и проводить «живые» обсуждения на разных этапах проекта, совместно работать над одним файлом в режиме реального времени, то есть максимально приблизить учебный процесс к реальной работе над проектом.

6. Участие в конференциях, форумах, семинарах по теме BIM. Организация и проведение научно-практических конференций для студентов по теме BIM на базе учебных заведений играет важную роль в развитии BIM образования. Целью подобных конференции являются обзоры современных достижений и обмен опытом в области BIM-моделирования применительно к вопросам проектирования, строительства и эксплуатации зданий, а также образования, нормативно-правовой базы и экономических аспектов вопроса. Конференции, семинары, вебинары – это неотъемлемая часть современного продвинутого подхода к обучению. Сейчас в сети огромное количество доступных качественных видео-тренингов, видео-обучений, которые можно включать в образовательные программы для студентов.

Заключение. Успешное внедрение новых технологий – это задача не только организаций проектно-строительной отрасли. Ключевым для любой отрасли является наличие квалифицированных специалистов, способных работать с новыми технологиями и в новых условиях. Адаптация существующих и разработка новых образовательных программ по теме BIM является крайне важной задачей для учебных заведений архитектурно-строительного профиля. Но подходы и новые программы должны разрабатываться исходя из требований, которые бизнес сообщество предъявляет к будущим специалистам.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Талапов В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. — Москва: ДМК-Пресс, 2015. — 410 с.
- 2 Исследование «Уровень применения BIM в России 2019» / http://concurator.ru/information/bim_report_2019/ Дата обращения 10.05.2021
- 3 Татыгулов А. А., Жаманкулов А. М., Гизатулина А. Ш. Уровень развития и применения BIM-технологий в компаниях проектно-изыскательской отрасли Республики Казахстан. – Вестник НИА РК, Алматы, 2020, №4 (78). – 100-106 с. Программа обучения BIM A+ / <https://bimaplus.org/objectives/#brief-list> / Дата обращения 12.05.2021

4 Семенов А.А., Суханова И.И. Проект BIM-ICE – интеграция BIM в высшее и профессиональное образование, BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры, – Материалы III Международной научно-практической конференции BIMAC 2020, Санкт-Петербург, 2020. – 372-378 с.

5 Программа Санкт-Петербургского Государственного Архитектурно-строительного университета / https://www.spbgasu.ru/Studentam/Kafedry/informacionnyh_technology/BIM-tehnologii_modelirovaniya_zdaniy/ Дата обращения 18.05.2021

6 Романович М. А., Всеволожская В. Г., Кузьминых А. Р., Попова Е. М., Перцева А. Е. Опыт создания цифровой модели здания в рамках международной образовательной программы на платформе BIM 360, BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры, - Материалы III Международной научно-практической конференции BIMAC 2020, Санкт-Петербург, 2020. - 362 – 371 с.

7 Программа профессиональной переподготовки «Разработка и управление проектом с технологией BIM», Университет ИМТО, г. Санкт-Петербург / <http://cad.itmo.ru/bim.php> / Дата обращения 18.05.2021

8 Гришина Н.М., Чалый Ю.Ю. Проблемы и перспективы BIM в ВУЗах: управление развитием в строительстве. – Известия КазГАСУ. 2017. № 3(41). – 277–288 с.

REFERENCES

1 Talapov V.V. Tekhnologiya BIM. Sut' i osobennosti vnedreniya informacionnogo modelirovaniya zdaniy. — Moskva: DMK-Press, 2015. — 410 s.

2 Issledovanie «Uroven' primeneniya BIM v Rossii 2019» / http://concurator.ru/information/bim_report_2019/ Data obrashcheniya 10.05.2021]

3 Tatygulov A. A., ZHamankulov A. M., Gizatulina A. SH. Uroven' razvitiya i primeneniya BIM-tehnologij v kompaniyah proektno-izyskatel'skoj otrasli Respubliki Kazahstan. – Vestnik NIA RK, Almaty, 2020, №4 (78). – 100-106 s. Programma obucheniya BIM A+ / <https://bimaplus.org/objectives/#brief-list> / Data obrashcheniya 12.05.2021

4 Semenov A.A., Suhanova I.I. Proekt BIM-ICE – integraciya BIM v vysshee i professional'noe obrazovanie, BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury, - Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii BIMAC 2020, Sankt-Peterburg, 2020. – 372-378 s.

5 Programma Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Arhitekturno-stroitel'nogo universiteta / https://www.spbgasu.ru/Studentam/Kafedry/informacionnyh_technology/BIM-tehnologii_modelirovaniya_zdaniy/ Data obrashcheniya 18.05.2021

6 Romanovich M. A., Vsevolzhskaya V. G., Kuz'minyh A. R., Popova E. M., Perceva A. E. Opyt sozdaniya cifrovoj modeli zdaniya v ramkah mezhdunarodnoj obrazovatel'noj programmy na platforme BIM 360, BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury, - Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii BIMAC 2020, Sankt-Peterburg, 2020. – 362 – 371 s.

7 Programma professional'noj perepodgotovki «Razrabotka i upravlenie proektom s tekhnologiej BIM», Universitet IMTO, g. Sankt-Peterburg / <http://cad.itmo.ru/bim.php> / Data obrashcheniya 18.05.2021

8 Grishina N.M., CHalyj YU.YU. Problemy i perspektivy BIM v VUZah: upravlenie razvitiem v stroitel'stve. – Izvestiya KazGASU. 2017. № 3(41). – 277–288 s.

А. Ә. ТӘТІҒҰЛОВ, А. Ш. ГИЗАТУЛИНА

KAZGOR Жобалау академиясы, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы

**ҚР ЖОҒАРҒЫ ОҚУ ОРЫНДАРЫНДА ҚҰРЫЛЫС САЛАСЫНЫҢ
МАМАНДАРЫН BIM-ДІ ҚОЛДАНУҒА БАЙЛАНЫСТЫ САПАЛЫ
ӘРІ КЕШЕНДІ ДАЯРЛАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ МӘСЕЛЕЛЕРІ**

Мақалада ҚР жоғарғы оқу орындарында құрылыс саласының мамандарын сапалы, кешенді даярлау мәселелері қарастырылған. Бұл – қазақстандық компанияларда ақпараттық моделдеудің (BIM) заманауи технологияларын енгізу жылдамдығына, мерзіміне және сапасына тікелей әсер ететін негізгі мәселелердің бірі. Бакалаврлар мен магистранттар үшін, сондай-ақ жоғарғы білімнен кейінгі кәсіби білім беруге арналып Ұлыбритания мен Ресейде қолданылатын тәсілдер мен бағдарламаларға қысқаша шолу жасалды. Қазақстанның жоғарғы оқу орындарында BIM-жобалау бағытында кадрларды даярлау жүйесіне жаңа, тәжірибеге бағдарланған тәсіл ұсынылды. Осы мақалада берілген ұсыныстар BIM-ді қолданып жүрген мамандардың пікірлерін ескеріп құрылған. Сәулет және құрылыс оқу орындары мен бейіндік факультеттерде оқытудың ұсынылған ұсынымдары мен әдістерін тәжірибеде қолдану нәтижесінде құрылыс саласы жаңа талаптарға дайын жоғары білікті мамандар мен басқарушыларға ие болады.

Түйін сөздер: ақпараттық моделдеу технологиялары, BIM бойынша кәсіби кадрларды дайындау, BIM-менеджері, BIM-үйлестірушісі.

A. A. TATYGULOV, A. SH. GIZATULINA

KAZGOR Design Academy, Almaty, Republic of Kazakhstan

**CONSIDERATIONS ON THE ORGANIZATION OF HIGH-QUALITY
AND COMPREHENSIVE TRAINING OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY
SPECIALISTS IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN RELATED TO THE APPLICATION OF BIM**

The article outlines the issues of high-quality and comprehensive education for specialists of the construction industry in the universities of the Republic of Kazakhstan. This is one of the key problems which directly affects the speed, timing and quality of implementation of Building Information Modeling (BIM) technologies for companies based in Kazakhstan. A brief overview of existing approaches and programs for bachelors, undergraduates, as well as post-professional education, used in the UK and in Russia, was carried out.

New practice-oriented approach to the Specialists Training System in the field of BIM in higher educational institutions of Kazakhstan is proposed. The suggestions presented in this article are formulated considering the opinions of practicing BIM specialists. As a result of the practical application of the proposed recommendations and teaching methods in architecture and construction universities and specialized faculties, the construction industry will receive highly qualified specialists and managers prepared for the new realities.

Keywords: Building Information Modeling (BIM) technologies, professional BIM training, BIM education, BIM manager, BIM coordinator.

R. K. USKENBAYEVA, A. A. KUANDYKOV, A. K. BOLSHIBAYEVA*

*International Information technology university, Almaty, Kazakhstan
e-mail: uskenbaevr@gmail.com, abu.kuandykov@gmail.com, kakim-aigerim@mail.ru*

ENSURING OBSERVABILITY AND CONTROL OF BUSINESS PROCESSES IN THE EXISTING LOGISTICS SYSTEM IN KAZAKHSTAN

In all economic and production-technological areas (or processes), business processes are the main objects that unite everything that is related to the achievement of the goal. Designing business processes is an important step that reflects a subjective view of the actual processes in the organization.

The activity of a warehouse, like the activity of any enterprise, consists of a set of external (supply, work with customers and suppliers) and internal (marketing, technological process, etc.) processes.

The main warehouse processes are:

- Acceptance of cargo to the warehouse;*
- Placement and storage of cargo;*
- Complete set of cargo;*
- Shipment of sets of cargo.*

Each of these processes can be investigated and solved as a separate problem.

In this paper, we will investigate and find ways to automate the business tasks of the business processes for fulfilling applications, the processes of receiving, placing, picking and shipping goods to customers.

This paper discusses the principles of the theory of automatic control in relation to the business processes of logistics, allowing to ensure observability and control of the business process without human participation. To create such a system, it is necessary that the control object functions effectively. Therefore, it is necessary first to design a business process that meets the requirements of efficiency and then it must be automated, so that the controllability and observability of the system is even higher.

Keywords: *digitalization of processes, observability, controllability, business-process.*

Introduction. Each of the enterprise systems requires the organization of interaction with the warehouse system at the main points of cargo movement. In practice, the number of points of contact between systems and the complexity of integration largely depends on the specifics of the industry of the enterprise, the organization of its business processes and the principles of working with cargo in the system.

Let's say a warehouse has a cargo picking area where the goods are assembled. Various integration options are possible, depending on how the system takes into account the loads and whether it takes them into account in principle. For example, the system reflects the fact that the cargo was assembled. In this case, the integration of systems will have to reflect the movement of components and kits at all stages of the warehouse technological process.

When designing an integration between systems, it is also important to know how the unit of measure is taken into account in the system. Often in the system, all work is carried out in terms of minimum units - for example, pieces. At the same time, for a warehouse system, you need to know the remainder of the cargo exactly in the context of all available units - boxes, boxes, packages, etc. This allows you to significantly optimize warehouse operations. Despite the possible discrepancy in the principles of cargo accounting, the interests of both systems should be taken into account in the process of developing integration.

* E-mail корреспондирующего автора: kakim-aigerim@mail.ru

Despite the diversity of companies and their specifics, there are several main points of contact between systems that should be present in any integration scheme. These include acceptance of cargo, selection and shipment of cargo, inventory (or arbitrary reconciliation of balances).

The system can transfer all of its functionality via web services. Web service definitions are defined in the configuration tree and made available to other systems by publishing them to the server.

Any system can access the service, just as the proposed system can access the web services of other manufacturers.

The SOA architecture is based on a service manager that performs the following functions:

- Management of connections with infobases;
- Support for WSDL service;
- Implementation of the SOAP protocol, serialization of messages, calling the corresponding service.

The integration of a warehouse management system and an enterprise system can be done in different ways.

The following integration mechanisms exist [1]:

- Integration through the OLE mechanism, which allows the corporate database and the warehouse management system to embed or link data created in one of the databases into a document and / or reference created by another database.

- Integration through the use of SQL capabilities.

- Integration on the principle of “one window”, when the functionality of the corporate system and the system of accounting and warehouse management are combined into a common information base.

- Integration on the basis of file exchange between the office of the enterprise and the warehouse.

The decision on the choice of one or another method of integrating the accounting and warehouse management automation system should be made based on the specifics of the enterprise information system, the territorial location of the integrated objects, the characteristics of the enterprise’s business processes, the stored cargo, and warehouse personnel.

Research methodology. There are two ways to automate business operations of business processes, one with human participation, the second without human participation. Moreover, it is clear that in the first case, it is sufficient to provide a human-machine interface, then in the second case it is necessary to provide:

- observability by supplying or installing the sensor or sensors;
- controllability by means of supply or installation of the executive body (s) (a working control body).

To make it controllable, it is required for this operation to develop control systems or regulators according to a certain law, for example, P, D, I, PD, PI, PID, which can (these control laws) be implemented.

To ensure observability and controllability of the business process, we will use the concept derived from management theory, i.e. control circuit. It defines and describes the boundaries of regulation of the operation of the control object.

The platform implements these control loops and contains the necessary components for this: a controlled system (control object), control actions, etc.

Feedback is the impact of control results on the process of this control, or, in other words, the use of information coming from a controlled object (Figure 1).

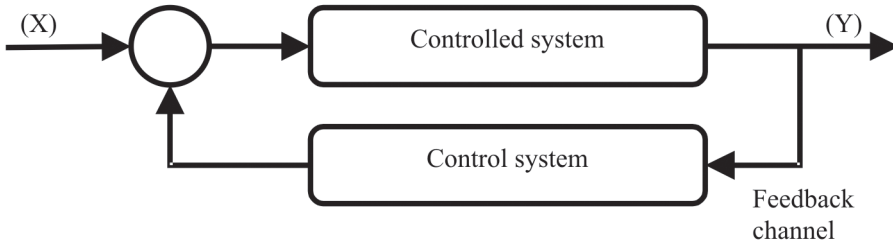


Figure 1 – A feedback control loop

In this regard, an approach based on the implementation of self-organization procedures in the system is being updated, which provides automatic adjustment of the structure and parameters of the system in conditions of a changing internal and external environment of functioning. The possibility of synthesizing organizational, technical, and technological objects by the example of the functioning of living organisms at the level of scientifically grounded knowledge was described by N. Wiener [2]. The idea of self-organization was very fruitfully developed by J. Saridis for the sphere of technical sciences, who introduced the concept of structurally and parametrically self-organizing systems [3]. In the first case, self-organization arose because of managing the combined structure of the object and the control system, in the second it was a consequence of the optimal combination of system parameters.

The attempt was made transfer this conceptual apparatus into management theory by Slyusar Yu.B [4]. He showed that in the process of functioning of a complex economic system (CES), the effects of structural and parametric self-organization can be distinguished in the same way.

By creating systems with negative feedback (Figure 1), under certain conditions, we can obtain such a new quality of the system as stability of functioning, which consists in stabilizing (adjusting) the values of the studied indicators within the level set by the decision maker. The fundamental point in the use of positive and negative feedbacks is the fact that only their joint application and interaction can create the effect of self-organization.

Thus, the controllability of the business process is achieved by introducing a control loop. Moreover, first, the strategic process of the control loop, which is the beginning of the control process. Therefore, to give the BP a managerial property, we will introduce the concept of a strategic process.

The strategic model constitutes the strategic level of business process management, which is designed to design, before completing the task by business processes, the content and structure of the business process based on the current situations that have arisen in the production environment, i.e. in a business process environment.

In all local problem areas of logistics, the strategic business process model determines the option of joint execution of specialized processes based on the current situations in production before the business process. The variant of joint execution of operations of specialized processes can be different, for example:

– first, the administrative operation (or decisions) in the current situation St(1) must carry out a set of personnel for the execution of all operations of the business process, and then organizational operations (for example, the distribution of functions between personnel for the entire BP) for all technological operations will determine the operations of organizations, and management operations is appointed and leads management based on the organizational structure and composition;

– and in a different current situation, St(2) must carry out a set of personnel for each operation before its execution, these actions are performed for each operation separately, and then organizational operations (for example, the distribution of functions between personnel for the entire BP) for the current technological operations will determine the operations of organizations and lead management based on the organizational structure and composition.

Each local or global business process is a set of operations, given the initial situations of the problem area, the execution of which, in a certain sequence, leads to the goal. At the same time, operations are heterogeneous, diverse: strategic, administrative, organizational, managerial, technological, providing resources, etc. Another important feature of the business process is that diverse operations such as administrative, organizational, technological, depending on situations in the problem area, can be performed in different sequences. It defines the operations of business process strategies [5-6].

If these operations are grouped according to their nature, which can be performed in parallel with the coordinated operations of different groups, then it is possible to organize separate processes from separate groups of operations. And then their coordinated execution of operations of different groups gives the same result as with the mixed execution of these operations as part of a business process.

Research results and discussion. Any BP is a set of operations, given the initial situations of the problem area, the execution of which, in a certain sequence, leads to the goal, i.e. any business process runs linearly.

But a linear process cannot be resistant to external factors and influences, since the impact of the administrative process (management, process owner) must be taken into account, i.e. there must be a process correction in manual mode [7-8].

Before applying the theory of automation to logistics business processes, let's define what is the object of control, the control system, etc.

Control object (CO) - an object is both a business process and its components. In this case, CO means special technological BP (operations), which include actions performed on the material flow (loading, unloading, transportation, storage, reloading with replacement of transport, acceptance, and release of cargo, etc.)

Since the process of accumulating operations is the accumulation of goods and information, the transfer function of the CO is an integrating link, that is, considering the presented data, we can accept the CO in the form of an integrator.

Under the subjects of control, we consider the rest of the special processes that determine where and why the process is moving. Moreover, the subjects of control must have the initial information to carry out a control effect on the control object:

– Regulator - a link that monitors the state of the CO and generates control signals. Since the role of control and monitoring of the process in the BP is performed by the owner of the process, as well as by administrative workers, it is proposed to use organizational special processes as a regulator.

– The executive mechanism (EM) is a link that directly affects the CO while changing the material and information flows that go to the CO.

Here we will consider special processes: management of technological operations, procurement processes and recruitment processes.

In addition to these links of the contour, information on the actual state of the object must be considered without fail. In this case, feedback is applied, which allows you to correct the behavior of the CO.

Since the blocks: CO, EM and sensors are links with unchangeable coefficients, we can regulate the parameters of the system only with the help of the regulator block, which must be assigned a regulation law [9-10].

A business process is satisfactorily completed if it was completed in a fairly short time frame and with a slight overshoot. To calculate the coefficients of blocks in MATLAB using the Simulink package, a feedback loop was built, and constant coefficients were selected experimentally. Also, an experiment was carried out on the regulator block using P, PI, PID regulation laws to identify the most suitable regulation law. As a result of the experiment, the simulation graphs shown in Figures 2-4 were obtained.

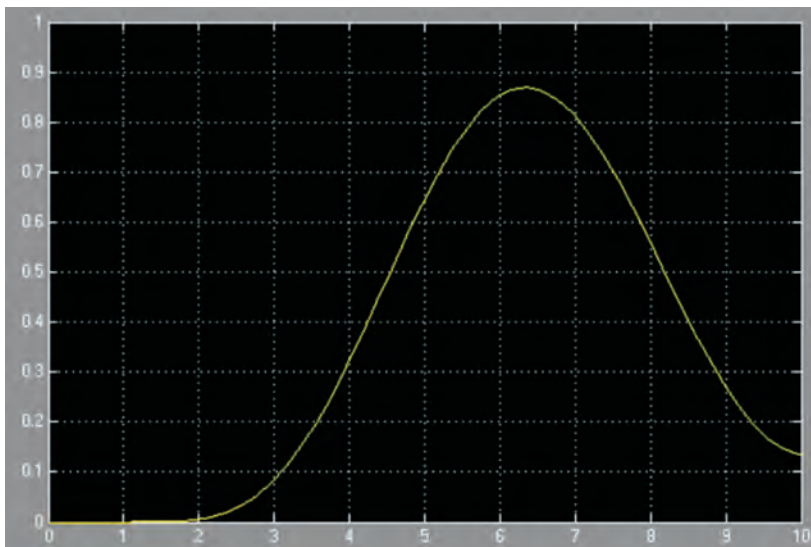


Figure 2 – Simulation graph of the AS in MATLAB, with a controller (proportional control law)

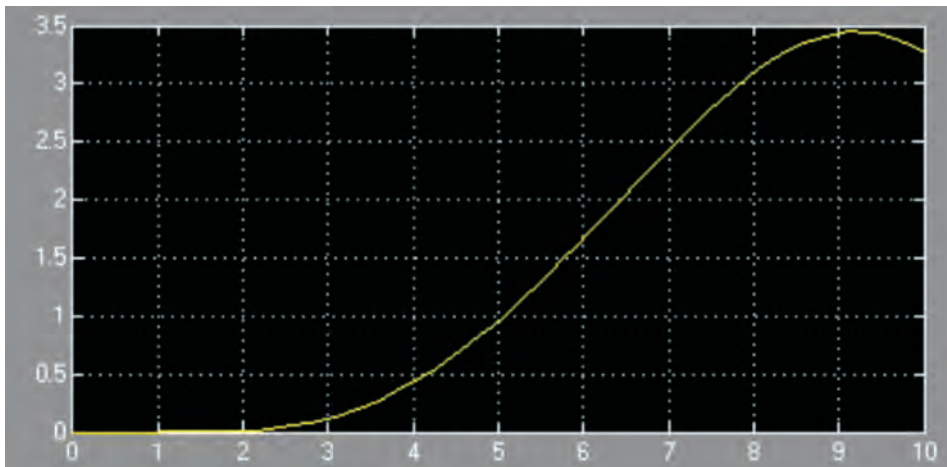


Figure 3 – Graph of AS simulation in MATLAB, with a controller (proportional-integral control law)

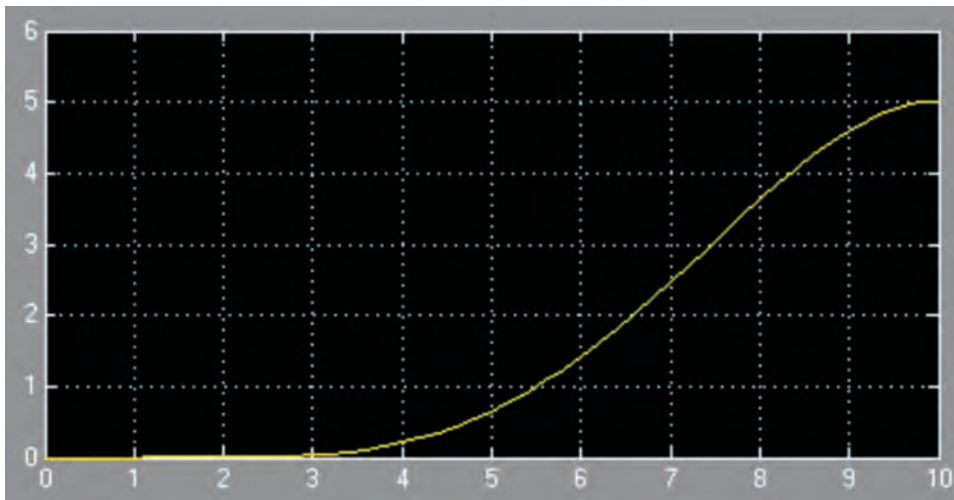


Figure 4 – Graph of AS simulation in MATLAB, with a controller (proportional-integral- differential control law)

As can be seen from the graphs with P-regulation, the process takes less time (in the P-controller, the maximum amplitude is reached at the time $t_{max} = 6.2s$, in the PI-controller, the maximum amplitude is reached at the time $t_{max} = 9.1s$, in the PID-controller, the maximum amplitude is reached at time $t_{max} = 10 s$), but this is compensated by the large process fluctuations. The smallest oscillation is with a PID controller, therefore, depending on the flow of applications, a change in the regulation law from PID to P and vice versa should be ensured. The hybrid system has the advantage of being able to cope with disturbances in the power supply unit in a dynamic mode, with continuous execution of the process under the influence of external factors, in a short time and with minimal overshoot.

Conclusions. As a result of the research done, a description of the logistics processes (in particular, warehouse processes) was carried out and a computer simulation of the process was carried out. As a result of the work, data were obtained on experiments with different types of regulators. During the experiment, it was revealed that when automating business processes, it is better to use a combined system with a regulator switch. Moreover, with a large queue of applications, the process should be executed with less time, respectively, by the P-controller, and when the queue of applications is not full, then the PID controller can be used.

REFERENCES

- 1 Integration Patterns Overview [Elektronnyi resurs]. Rejim dostupa: <http://www.enterpriseintegrationpatterns.com/eaipatterns.html>.
- 2 Viner, N. Kibernetika ili Upravlenie i svyaz' v zhitvotnom i mashine [Cybernetics or Control and Communication in an Animal and a Machine]: N. Viner. - M.: Nauka, 1983. S. 344
- 3 Saridis, Dzh. Samoorganizuyushchiesya stohasticheskie sistemy upravleniya [Self-organizing stochastic control systems]: Dzh. Saridis. pod red. YAZ. Cypkina. -M.: Nauka, 1980. S.400
- 4 Slyusar' YU.B. Upravlenie sinergeticheskim efektom integracii v korporativnyh sistemah [Management of the synergistic effect of integration in corporate systems]: YU.B. Slyusar' // Rossiya v globaliziruyushcheysya mirovoj ekonomike. Mater, mezhd. nauch.-prakt. konf. — Rostov n/D: Izd-vo Rost, un-ta, 2006.
- 5 Uskenbayeva R.K. Research of the Relationship Between Business Processes in Production and Logistics Based on Local Models [Text]: Uskenbayeva R.K., Kuandykov A.A., Rakhmetulayeva S.B., Bolshibayeva A.K. Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2020. - No. 991. - P.861-870
- 6 Uskenbayeva R.K. Basics of creating platforms for automation of business processes of logistics: Uskenbayeva R.K., Kuandykov A.A., Rakhmetulayeva S.B., Bolshibayeva A.K. Proceedings of 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2018), Oct. 17 ~ 20, 2018; YongPyong Resort, PyeongChang, GangWon, Korea
- 7 Bolshibayeva A.K. Development of business process design methods: Bolshibayeva A.K., Uskenbayeva R.K., Kuandykov A.A., Rakhmetulayeva S.B., Astaubayeva G.N. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2021. - Vol.99, No. 10. - P.2344-2358
- 8 Kassymova A. Principles for achieving the optimal performance of the input tasks flow of a business process and optimal performance of the business process: Kassymova A, Uskenbayeva R, Kurmangaliyeva B, Yedilkhan D. Proceedings of the 34th SICE Annual Conference 2015, Hangzhou, China. P 909-914
- 9 Abdikeev N.M. Reinzhiniring biznes-processov [Reengineering of business processes]: Abdikeev N.M., Dan'ko T.P., Il'demenov S.V., Kiselev A.D. Uchebnik dlya MBA. M.: Eksmo, 2005.
- 10 What's the difference between platform strategy vs. business strategy vs. product strategy? [Elektronnyi resurs]. Rejim dostupa: <https://www.futurelab.net/blog/2008/05/whats-difference-between-platform-strategy-vs-business-strategy-vs-product-strategy>

Р. К. УСКЕНБАЕВА, А. А. КУАНДЫКОВ, А. К. БОЛШИБАЕВА

*Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.*

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ БАР ЛОГИСТИКА ЖҮЙЕСІНДЕГІ БИЗНЕС ПРОЦЕССТЕРІНДЕ БАҚЫЛАУШЫЛЫҚТЫ ЖӘНЕ БАСҚАРУДЫ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Барлық экономикалық және өндірістік-технологиялық салаларында (немесе процестерде) бизнес-процестер - мақсатқа жету үшін барлық нәрсені біріктіретін негізгі объектілер болып табылады. Бизнес-процесті жобалау - бұл ұйымдағы нақты процестердің субъективті көрінісін көрсететін маңызды қадам.

Қойма қызметі кез-келген кәсіпорынның қызметі сияқты сыртқы (жабдықтау, тапсырыс берушілермен және жеткізушілермен жұмыс жүргізу) және ішкі (маркетингтік, технологиялық процесс және т.б.) процестер жиынтығынан тұрады.

Қойманың негізгі процестері:

- жүкті қоймаға қабылдау;*
- жүкті орналастыру және сақтау;*
- жүктерді жинау;*
- жүк жиынтығын жөнелту.*

Осы процестердің әрқайсысын жеке-жеке зерттеп және шешуге болады.

Бұл жұмыста біз өтінімдерді орындау үшін бизнес-процестердің бизнес тапсырмаларын, тауарларды қабылдау, орналастыру, жинау және тұтынушыларға жөнелту процедураларын зерттеп, автоматтандырамыз.

Бұл жұмыста логистиканың бизнес-процестеріне қатысты автоматты басқару теориясының принциптері талқыланады, бұл адамның қатысуынсыз бизнес-процестің бақылауы мен басқаруын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Мұндай жүйені құру үшін басқару объектісі тиімді жұмыс істеуі қажет. Сондықтан автоматтандыруды бастамастан, алдымен тиімділік талаптарына сәйкес келетін бизнес-процесті жобалау қажет, сонда жүйенің бақылануы мен басқаруы одан да жоғары дәрежеде жүреді.

***Түйін сөздер:** процестерді цифрландыру, бақыланатындық, басқарылатындық, бизнес-процесс*

Р. К. УСКЕНБАЕВА, А. А. КУАНДЫКОВ, А. К. БОЛШИБАЕВА

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАБЛЮДАЕМОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ЛОГИСТИКИ В КАЗАХСТАНЕ

Во всех экономических и производственно-технологических сферах (или процессах) бизнес-процессы являются основными объектами, объединяющими все, что имеет отношение к достижению цели. Проектирование бизнес-процессов является важным шагом, отображающим субъективное видение реально существующих процессов в организации.

Деятельность складского хозяйства, как и деятельность любого предприятия, состоит из совокупности внешних (снабжение, работа с клиентами и поставщиками) и внутренних (маркетинг, технологический процесс и т.д.) процессов.

Основными процессами склада являются:

- Прием груза на склад;*
- Размещение и хранение груза;*
- Комплектация груза;*
- Отгрузка комплектов груза.*

Каждый из этих процессов может быть исследован и решен как отдельная задача.

В данной работе будут исследованы и найдены пути автоматизации бизнес-задач, бизнес-процессов выполнения заявок, процессов приема, размещения, комплектации и отгрузки грузов клиентам. В данной работе рассматриваются принципы теории автоматического управления применительно к бизнес-процессам логистики, позволяющие обеспечить наблюдаемость и управляемость бизнес-процессом без участия человека. Для создания такой системы необходимо, чтобы объект управления функционировал эффективно. Поэтому необходимо сначала спроектировать бизнес-процесс, удовлетворяющий требованиям эффективности и затем его надо автоматизировать так, чтобы управляемость и наблюдаемость системы была еще выше.

Ключевые слова: *цифровизация процессов, наблюдаемость, управляемость, бизнес-процесс.*

УДК 676.1.022.1:668.743.54

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.106>

**Қ. АҚАТАН¹, С. Қ. ҚАБДРАХМАНОВА¹, А. А. ИМАШЕВА^{1*},
Т. ҚУАНЫШБЕКОВ¹, Ж. Е. ИБРАЕВА², Н. ҚАЙЫРБЕКОВ¹**

¹С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен,

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы

БІР ЖЫЛДЫҚ ӨСІМДІКТЕКТЕС ШИКІЗАТТАН АЛЫНҒАН ЦЕЛЛЮЛОЗАНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІГІНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ АКТИВТЕУДІҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада шар диірменіндегі механикалық активтендіруге байланысты целлюлозадағы құрылымдық өзгерістерді зерттеу нәтижелері қарастырылады. Целлюлоза органосольвентті тәсілмен ҚР Шығыс Қазақстан облысында өсетін қарасорасынан (*Cannabis Ruderalis Janisch*) алынған. Инфрақызыл спектроскопия мен рентгендік дифрактометрияға сәйкес целлюлозаның кристалды құрылымы механикалық активтену жылдамдығы мен уақытының жоғарылауымен белгілі бір заңдылықтарға сәйкес өзгерді. Активтелген целлюлозаның кристалдық индексінің мәні бастапқы целлюлозамен салыстырғанда 58,6%-дан 65,2%-ға артқан. Бұл бастапқы целлюлозаның кристалдық бөліктерін бір-бірімен жалғап тұрған аморфты бөліктердің механикалық активтеу барысында үзіліп, мөлшерінің азайғандығымен байланысты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: қарасора сабағы, ИҚ-Фурье спектроскопия, дифрактометрия, кристалдық индекс, целлюлоза, механикалық активтеу.

Кіріспе. Соңғы жылдары химиялық өндірісте тұрақтылық тұжырымдамасына, яғни қауіпті заттарды минималды мөлшерде қолдану және жасыл химия қағидасы негізінде қалпына келетін шикізаттарға көп көңіл бөлу басты назарға алынуда [1, 2]. Бұл тұрғыдан алғанда, целлюлоза – қолданылатын табиғи шикізат қоры мол, арзан, биоүйлесімді және биологиялық ыдырауға ұшырайтын экологиялық материалға жатады. Целлюлоза – мата тоқу, қағаз жасау, дәрі тасымалдау, имплантант алу және т.б. салаларда кең қолданысқа ие [3]. Целлюлоза – $\beta(1-4)$ глюкозиттік байланыспен байланысқан глюкозаның бөліктерінен құралған және молекуласындағы интер-интрамолекулалық сутектік байланыстың әсерінен өте ретті кристалдық құрылысқа ие табиғи талшықты полимер [4]. Осы ұзын талшықтарды әдетте мата тоқу мен жіп иіру өндірісінде кеңінен қолданады. Бұл ретте қысқа талшықтар қалдық ретінде жарамсыз болып қалады. Сондықтан, соңғы жылдары осы қалдықтарды тиімді пайдалану мақсатында

* E-mail корреспондирующего автора: ahnur.hj@mail.ru

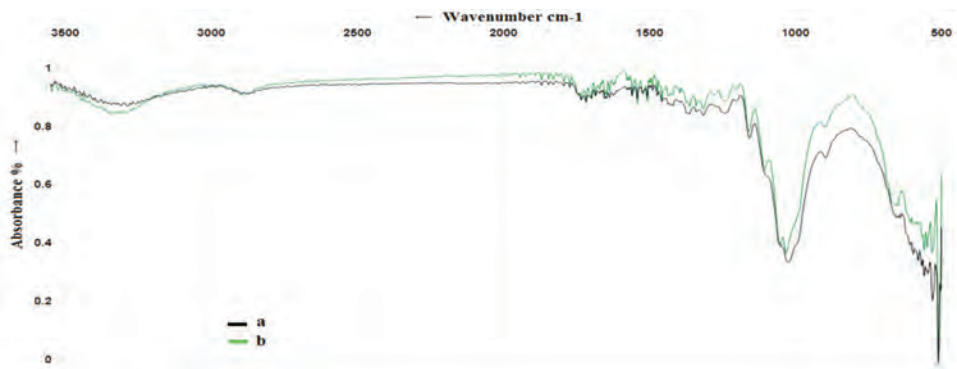
целлюлоза нанокристалдарын (ЦНК) алу үшін өңдеудің көптеген механикалық түрлері қолданылуда, атап айтқанда, будың жарылуы, крио-ұнтақтау, жоғары қысым турбуленттілігі жағдайларында және шар диірменінде ұнтақтау [5-8]. Бұл әдістердің ішінде шар диірмені көмегімен активтеу әдісі барынша қарапайым, айырықша факторларды (қысым, температура т.б.) қажет етпейтін, сондай-ақ экологиялық және экономикалық жағынан тиімді болғандықтан, өндірісте кеңінен қолданылады [9]. Осы факторды есепке ала отырып, зерттеу жұмысында қарасора сабағынан органо-сольвенттік тотықтыру әдісімен алынған целлюлозаның құрылымдық ерекшелігіне шар диірменінде механикалық активтеудің әсері зерттелді.

Зерттеу бөлімі. Механикалық активтеу барысында қолданылған целлюлоза – қарасора сабағынан [10] әдістемеге сәйкес алынды. Бөлме температурасында толық кепкен целлюлозадан 2г өлшеп алынып, сыйымдылығы 50 мл, шар диаметрі 10 мм болатын FRITSCH Pulverisette-6 (Germany) шар диірменде бөлме температурасында, айналу жылдамдығы 300 rpm жағдайында 1 сағат бойы активтелді. Механикалық активтелген целлюлозаның химиялық құрылысы бастапқы целлюлозамен салыстырмалы түрде ИҚ-фурье спектрометрінде (FT-801Simex, Ресей) 450–4700 см⁻¹ толқын ұзындығы аралығында зерттеліп, кристалдық құрылымы рентген дифрактометрінде (Xpert PRO PANalytical Нидерланды) 2θ = 10° – 50° жағдайында анықталды. Целлюлозаның кристалдылық индексі (CI) Segal әдісі бойынша өлшеніп, келесі теңдеуі арқылы есептелді:

$$CI (\%) = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100\%$$

мұндағы I₀₀₂ – 2θ мәні 21° пен 23° аралығындағы торлы дифракция пиктің максималды интенсивтілігі, I_{am} – 2θ мәні 15° пен 20° аралығындағы аморфты материалдың максималды интенсивтілігінің мәні.

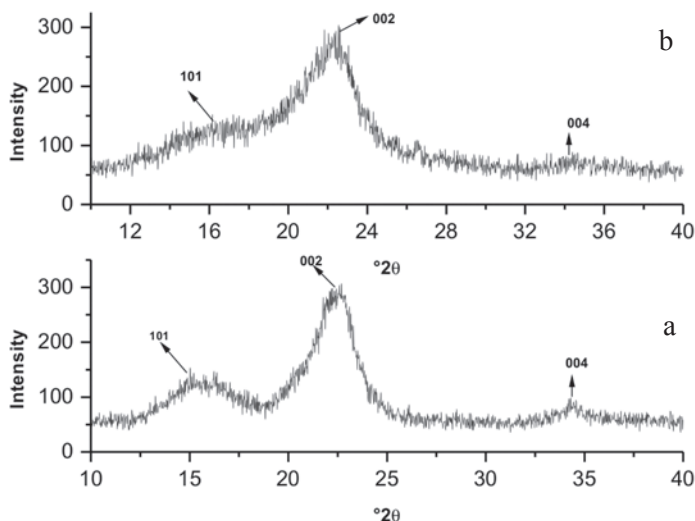
Нәтижелер және оларды талқылау. 1 – Суретте қарасора сабағынан алынған целлюлоза (а) мен механикалық активтелген целлюлозаның (b) ИҚ-спектрлері берілген.



Сурет 2 – Қарасора сабағынан алынған целлюлоза (а) және механикалық активтелген целлюлозаның (b) ИҚ – спектрлері

Спектрде 3600–3000 см⁻¹ аралығындағы жұтылу ауданындағы кең пик О–Н тобының валенттілік тербелісін сипаттаса, 2880 см⁻¹ аумағындағы жұтылу – СН₂ тобының сигналдарына тән. 1450 – 1300 см⁻¹ полисахаридтердің С–Н топтарының сигналына

сәйкес келесе, $1100-1000\text{ см}^{-1}$ аумағы C–O байланыстың созылмалы тербелісінің сигналын береді. 900 см^{-1} целлюлоза молекуласындағы глюкоза бөліктерінің арасындағы β -глюкозидті байланыстың тербелісіне тән [11-12]. 1-суретте берілген бастапқы және механикалық активтелген целлюлозаның химиялық құрылысында өзгешелік жоқ екендігі байқалады. Бұл механикалық активтеу процесі целлюлозаның құрылысын өзгеріске ұшыратпайтындығын көрсетеді. Алынған нәтиже [9, 13] алдыңғы зерттеу жұмыстарына сай келеді. 2-Суретте механикалық активтелген целлюлозаның (b) рентгендік дифрактограммасы бастапқы целлюлозамен (a) салыстырмалы түрде берілген. 1–Кестеде целлюлозаның рентгендік дифрактограммасы мен кристалдық индекстерінің (CI) мәндері көрсетілген.



Сурет 2 – Қарасора сабағынан алынған целлюлоза (a) және механикалық активтелген целлюлозаның (b) рентгендік дифрактограммасы

Кесте 1 – Целлюлозаның рентгендік дифрактограммасы мен кристалдық индекстерінің (CI) мәндері

Целлюлоза түрі	2θ		Интенсивтілік		Кристаллдық индекс (CI), %
	I_{am}	I_{002}	I_{am}	I_{002}	
Целлюлоза	15,65	22,69	127	307	58.6
Механикалық активтелген целлюлоза	15,75	22,41	102	293	65.2

Кестеден қарасора сабағынан алынған целлюлозаның $2\theta = 15,65^\circ$ (110), $22,69^\circ$ (200), $34,23^\circ$ (004) және механикалық активтелген целлюлозаның $2\theta = 15,75^\circ$ (110), $22,41^\circ$ (200), $34,65^\circ$ (004) мәндері тең екендігін көруге болды. Бұл I типтегі целлюлозаның кристаллографиялық жазықтығын көрсетеді [14, 15]. Активтелген целлюлозаның кристалдық индексінің мәні бастапқы целлюлозамен салыстырғанда 58,6 %-дан 65,2%-ға артқан. Бұл бастапқы целлюлозаның кристалдық бөліктерін бір-

бірімен жалғап тұрған аморфты бөліктердің механикалық активтеу барысында үзіліп, мөлшерінің азайғандығымен байланысты болуы мүмкін [16].

Қорытынды. Қорыта келгенде, шар диірмені көмегімен қарасора сабағынан алынған целлюлозаны механикалық активтеу құбылысы зерттелді. Зерттеу барысында шар диірмені арқылы механикалық активтеу целлюлозаның химиялық құрылысын өзгеріске ұшыратпай, аморфты бөліктерін үзу арқылы кристалдық индексі артыратындығы белгілі болды.

ӘДЕБИЕТ

1 Уилсон М. П. және Шварцман М. Р. Жасыл химия: терминология және реакция принциптері // Денсаулық сақтау перспективалары. 2009. V. 117(10). Б.386-434.

2 Шелдон Р. А. Биомассадан химиялық заттардың экологиялық таза және тұрақты өндірісі: қазіргі жағдайы // Жасыл химия. – 2014. – V. 16(3). 950-963 Б.

3 Анастас П. Т. және Кирхгоф м.м. Жасыл химияның пайда болуы, қазіргі жағдайы және болашақ мәселелері// *Acc. Chem. Res.* 2002 . V. 35(9). 686-694 Б.

4 Абитбол Т., Ривкин А., Цао Ю. Ф., Нево Ю., Абрахам Э., бен Шалом Т., Лапидот С. және Шосеев О. Наноцеллюлоза, үлкен қосымшалары бар ұсақ талшық// *Сигрс. Апин. Биотехнология.* 2016. V. 39. С. 76-88.

5 Пирас С. С., Фернандес-Прието С., Вим М. Де Боргграв. Шарлы фрезерлеу: экологиялық таза наноцеллюлоза туындыларын алу және функционализациялау технологиясы / / *Наноөлшемді Adv.* 2019. V. 1. P. 937-947.

6 Юэнь С, Чен У, Ли Ю. Наноөлшемді мақта ұнтағын алу және сипаттау// *Журн. Тоқыма институты.* 2009. V. 100(2). С. 165-172.

7 Прасад Б.М., Саин М. М., Рой Д. Н. Потенциалды композитті күшейту үшін инертті атмосферада термиялық өңделген қарасора талшықтарының қасиеттері. // *Журн. Материалтану.* 2005. V. 40(16). 4271-4278 Б.

8 Чанг Ф, Ли Ш, Тоба К және т.б. Нсw және тегістеу әдісімен бамбук нанофилин алу және оны нанокомпозитке қолдану//жүн туралы ғылым. *Технол.* 2011. V. 46. Б.3-11.

9 Аббаси Р., Бахети В. Джут талшығының қалдықтарынан наноцеллюлозаны алу// *Журн. Тоқыма сән технологиясы.* 2019. V. 4(2). 126 б.

10 Ақатан К., Кабдрахманова С. К., Абилев М. Б., Вураско А. В., Ибраева Ж. Е., Имашева А. А., Оспанова Ж. А., Төлеуханова А. К. Күнбағыс қабығынан целлюлоза алу және оның қасиеттерін зерттеу//Сатпаев оқулары инновациялық технологиялар Қазақстан Республикасы экономикасының Рудный және мұнай-газ секторларындағы іргелі және қолданбалы мәселелерді сәтті шешудің кілті болып табылады. V. II. 2019. Б.581-585.

11 Хаафиз М.К. М., Хассан А., Закария З., Инува И. М. Микрористалды целлюлоза нановискерлерінің майлы пальма биомассасынан оқшаулануы және сипаттамасы// көмірсутек. *Полим.* 2014. V. 103. С. 119-125.

12 Мандал А., Чакарбарти Д. Қант қамысы қалдықтарынан наноцеллюлозаны оқшаулау (SCB) және оның сипаттамасы// көмірсутек. *Полим.* 2011. V. 86. 1291-1299 Б.

13 Фантонг П., Гуан Г., Ма Ю., Хао Х., Абудула А. Жұмсақ қышқыл гидролизі арқылы наноцеллюлозаны алуға допты ұсақтаудың әсері// Тайвань химиялық инженерлер институтының журналы. 2016. V. 60. 617-622 Б.

14 Лу П., Сие Ю. Л. Целлюлоза нанокристалдарын алу және қасиеттері: өзектер, сфералар және желі// көмірсутек. *Полим.* 2010. V. 82. Б.329-336.

15 Пенг Ю., Гарднер Д. Дж., Хан Ю., Кизилтас А., Цай З., Тшабалала М. А. Кептіру әдісінің наноцеллюлоза I материалының қасиеттеріне әсері: жылу кедергісі және кристалдылығы// *Целлюлоза.* 2013. V. 20. 2379-2392 Б.

16 Дай Д., Фан М., Коллинз П. Қарасора талшықтарынан наноцеллюлозалар жасау және оларды қарасора талшықтарын нығайту үшін қолдану//Өнеркәсіптік дақылдар мен өнімдер. 2013. V. 44. С. 192-199.

REFERENCES

1 Wilson M. P. and Schwarzman M. R.. Green Chemistry: Terminology and Principles Response// Health Perspectives. 2009. V.117(10). P.386–434.

2 Sheldon R. A. Green and sustainable manufacture of chemicals from biomass: state of the art // Green Chem. -2014. -V. 16(3). P. 950–963.

3 Anastas P. T. and Kirchhoff M. M. Origins, current status and future challenges of green chemistry// Acc. Chem. Res. 2002 . V. 35(9). P.686–694.

4 Abitbol T., Rivkin A., Cao Y. F., Nevo Y., Abraham E., Ben Shalom T., Lapidot S. and Shoseyov O. Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications// Curr. Opin. Biotechnol. 2016. V. 39. P.76–88.

5 Piras C. C., Fernandez-Prieto S., Wim M. De Borggraeve. Ball milling: a green technology for the preparation and functionalisation of nanocellulose derivatives// Nanoscale Adv. 2019. V.1. P. 937–947.

6 Yuen C, Cheng Y, Li Y. Preparation and characterisation of nanoscale cotton powder.// Jour. Textile Institute. 2009. V.100(2). P.165–172.

7 Prasad B.M, Sain M.M, Roy D.N. Properties of ball milled thermally treated hemp fibers in an inert atmosphere for potential composite reinforcement. // Jour. Material Science. 2005. V.40(16). P.4271–4278.

8 Chang F, Lee SH, Toba K, et al. Bamboo nanofiber preparation by HCW and grinding treatment and its application for nanocomposite//Wool Sci. Technol. 2011. V. 46. P.3–11.

9 Abbasi R., Baheti V. Preparation of nanocellulose from jute fiber waste// Jour. Textile Eng Fashion Technol. 2019. V. 4(2). P.126.

10 Akatan K., Kabdrakhmanova S.K., Abilev M.B., Vurasko A.V., Ibraeva Zh.E., Imasheva A.A., Ospanova Zh.A., Toleukhanova A.K. Obtaining cellulose from sunflower husks and researching its properties//Satpayev's readings innovative technologies are the key to successful solving fundamental and applied problems in the ore and oil and gas sectors of the economy of the Republic of Kazakhstan. V.II. 2019. P. 581-585.

11 Haafiz M.K.M., Hassan A., Zakaria Z., Inuwa I.M. Isolation and characterization of cellulose nanowhiskers from oil palm biomass microcrystalline cellulose// Carbohydr. Polym. 2014. V.103. P.119–125.

12 Mandal A., Chakrabarty D. Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization// Carbohydr. Polym. 2011. V.86. P.1291–1299.

13 Phanthong P., Guan G., Ma Y., Hao X., Abudula A. Effect of ball milling on the production of nanocellulose using mild acid hydrolysis method// Jour. of Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2016. V. 60. P.617–622.

14 Lu P., Hsieh Y.L. Preparation and properties of cellulose nanocrystals: rods, spheres, and network// Carbohydr. Polym. 2010. V.82. P.329–336.

15 Peng Y., Gardner D.J., Han Y., Kiziltas A., Cai Z., Tshabalala M.A. Influence of drying method on the material properties of nanocellulose I: thermostability and crystallinity// Cellulose. 2013. V.20. P.2379–2392.

16 Dai D., Fan M., Collins Ph.. Fabrication of nanocelluloses from hemp fibers and their application for the reinforcement of hemp fibers//Industrial Crops and Products. 2013. V. 44. P.192–199.

**К. АКАТАН¹, С. К. ҚАБДРАХМАНОВА¹, А. А. ИМАШЕВА¹,
Т. КУАНЫШБЕКОВ¹, Ж. Е. ИБРАЕВА², Н. КАЙЫРБЕКОВ¹**

¹Восточно-Казахстанский университет имени С.Аманжолова, Усть-Каменогорск,

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРНУЮ СПЕЦИФИКУ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ОДНОЛЕТНЕГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В статье представлены результаты исследования структурных изменений целлюлозы вследствие механической активации в шаровой мельнице. Целлюлоза получена органосольвентным способом из стеблей конопли сорной (*Cannabis Ruderalis Janisch*), произрастающей в Восточно-Казахстанской области РК. Согласно данным инфракрасной спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии, кристаллическая структура целлюлозы изменялась по определенным закономерностям с увеличением скорости и времени механической активации. Значение индекса кристалличности активированной целлюлозы увеличилось с 58,6% до 65,2% по сравнению с исходной целлюлозой. Это, возможно, связано с тем, что аморфные частицы, соединяющие кристаллические части исходной целлюлозы, разрушаются во время механической активации и уменьшаются в размере.

Ключевые слова: стебли конопли, ИК-Фурье спектроскопия, дифрактометрия, индекс кристалличности, целлюлоза, механическая активация.

**Қ. АКАТАН¹, С. К. КАБДРАКХМАНОВА¹, А. А. ИМАСHEVA¹,
Т. К. КУАНЫШБЕКОВ¹, Ж. Е. ИБРАЕВА², Н. КАИРБЕКОВ¹**

¹S. Amanzholov East Kazakhstan university

²Kazakh National Pedagogical University named after Abai

STUDY OF THE EFFECT OF MECHANICAL ACTIVATION ON THE STRUCTURAL FEATURES OF CELLULOSE FROM ANNUAL PLANT- RAW MATERIALS

The study investigated the effect of mechanical activation using a ball mill on the chemical structure of cellulose. Cellulose was obtained by the organosolvent method from the stems of hemp (*Cannabis Ruderalis Janisch*), growing in the East Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan. According to infrared spectroscopy and X-ray diffractometry, the crystalline structure of cellulose changed according to certain regularities with an increase in the rate and time of mechanical activation. The value of the crystallinity index of activated cellulose increased from 58.6% to 65.2% compared to the original cellulose. This is possibly due to the fact that amorphous particles connecting the crystalline parts of the original cellulose are destroyed during mechanical activation and decrease in size.

Keywords: hemp stems, FTIR spectroscopy, diffractometry, crystallinity index, cellulose, mechanical activation.

Р. Е. ЛУКПАНОВ*, Д. С. ДЮСЕМБИНОВ

*Научно-производственный центр ЕНУ-Lab, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
rauan_82@mail.ru*

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ВОДОВЯЖУЩЕГО СООТНОШЕНИЯ ОТ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛЬНОГО КОМПОНЕНТА В СОСТАВЕ БЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДОБАВКИ

В статье приведены исследования цементно-зольного вяжущего в составе бетона, который рекомендуется использовать при условии применения комплексной модифицированной добавки (КМД). Целью исследований является оценка водовяжущего соотношения на сроки схватывания смеси разной зольной концентрации. Измерения выполнены на стандартном приборе Вика по стандартной и адаптированным методикам в три этапа. На первом этапе дана оценка водовяжущего соотношения на сроки схватывания смеси разной зольной концентрации. На втором этапе дана оценка применимости метода распыла к зольно-цементным растворам. Третий этап включал оценку влияния размеров образцов на фактические данные о сроках схватывания, то есть насколько результаты испытаний малых образцов применимы к возводимым конструкциям большого размера. По результатам всех трех этапов получены зависимости между процентным содержанием зольного компонента, водовяжущим соотношением и показателями сроков схватывания (начало, конец и период схватывания).

***Ключевые слова:** цемент, зола, смесь, вязкость, водовяжущее (водоцементное) соотношение, сроки схватывания.*

Введение. На сегодняшний день железобетонные конструкции и изделия относятся к наиболее востребованным материалам как в гражданском, так и промышленном строительстве [1]. Окружающие нас здания и сооружения не обходятся без использования бетона, даже в дорожном строительстве бетон имеет широкое применение [2].

Большая часть преобразовательного процесса бетона как строительного материала приходится не на разработку новых материалов, а на применение добавок, способствующих улучшению его физико-механических свойств. Добавка может быть подобрана, например, в зависимости от технологического применения бетона или для улучшения определенных его показателей: скорости схватывания или твердения, увеличение прочности, водопоглощения, морозостойкости и пр. [3].

Также активно развивается направление по утилизации промышленных отходов, в состав бетонных смесей или вяжущих добавляют отходы или излишки промышленности, в основном с целью снижения себестоимости продукта. Наиболее распространенными добавками замещения являются: отсев камнедробления, шлак, зола и пр. [4]. В настоящей статье в качестве добавки замещения вяжущего используется зола. Добавление зольного компонента в состав вяжущего способствует ухудшению физико-механических свойств бетона, следовательно, использование золы в составе вяжущего для экономии цемента не должно использоваться без применений компенсирующих добавок (например, добавления пластификатора для уплотняемости

* E-mail корреспондирующего автора: rauan_82@mail.ru

смеси, в частности пористой структуры зольного компонента). В нашем случае используется разработанная авторами статьи комплексная модифицированная добавка (КМД), благодаря которой происходит восстановление утраченных свойств бетона [5]. В состав КМД входят отходы производства спирта (послеспиртовая барда), отходы производства масел (соапсток), а также щелочь (едкий натр, NaOH). Данная добавка может применяться не только для тяжелых бетонов, но и для легких, например, пенобетона [6].

В рамках данной статьи будет рассмотрена задача исследования по оценке оптимального водовяжущего соотношения в зависимости от концентрации золы с точки зрения условий производства бетонных работ [7, 8].

Методология исследования. В состав золы гидроудаления входят: диоксид кремния (SiO₂) – до 52%, оксид алюминия (Al₂O₃) – до 18%; негашеная известь (CaO) – до 13%, оксид магния (MgO) – до 2%, железная окалина (Fe₂O₃) – до 7 %, серный ангидрид (SO₃) – до 3%, щелочные металлы – до 2%, зольный остаток – до 7%.

Оценка оптимального соотношения концентрации золы к цементу выполнена в два этапа:

Первый этап включал оценку влияния зольного компонента на водоцементное соотношение, выполненную анализом результатов измерений расплыва цементно-зольной смеси.

Второй этап включал оценку влияния зольного компонента на время изменения агрегатного состояния смеси (из жидкого в твердое) после ее затворения, выполненную анализом результатов измерений сроков схватывания смеси.

Измерения первого этапа относят к оценке удобоукладываемости бетонной смеси, а второго – к оценке твердения смеси и набора прочности бетона по времени. Следовательно, результаты измерений в комплексе направлены на улучшение условий технологии производства бетонных работ, в частности процесса заливки бетона, предлагаемым составом. В обоих случаях (этапах) результаты измерений зависят от водоцементного соотношения, однако могут иметь непропорциональную закономерность как в порядке закономерности индивидуального метода относительно искомых результатов, так и в порядке изменчивости результатов по истечении времени. Если первое относится к особенностям методики и средствам измерений, то второе зависит от свойств материала. Зола обладает абсорбирующим эффектом, который сопровождается в течение всего периода набора прочности бетона. Таким образом, поскольку испытания вяжущего раствора начинают проводить в пределах 30 секунд после затворения, то данная оценка водоцементного соотношения в случае использования золы не гарантирует ожидаемого результата при проведении испытаний сроков схватывания. Теоретически процентное увеличение зольного компонента обратно пропорционально сроку схватывания, следовательно, возможно потенциальное увеличение водоцементного соотношения, несмотря на удовлетворительные показатели расплыва.

В рамках данной статьи будут тезисно представлены результаты первого этапа и более подробно представлены методика, условия проведения и анализ результатов второго этапа. Испытания второго этапа выполнены методом измерений сроков схватывания цементного раствора с разным процентным содержанием золы: 4, 8, 10, 20, 30, 40%. Оценка результатов испытаний проведена в сравнении с ре-

зультатами эталонной смеси, за которую принят водоцементный раствор без добавления золы.

Измерения состоит из трех стадий испытаний:

– Первая стадия (Рисунок 1А) включала испытания на стандартном приборе Вика (размерностью чаши: диаметр 70 мм, высота раствора – 38 мм) по условно принятым критическим точкам. Критические точки, соответствующие нижнему и верхнему показателю водоцементного соотношения, были подобраны на основании проведенных испытаний расплывов образцов смесей разной зольной концентрации. За эталон нижнего показателя было принято такое водоцементное соотношение, при котором расплыв смеси окажется максимально приближен к минимальному радиусу шкалы средства измерения, соответственно, за эталон верхнего показателя принято соответствие максимальному радиусу шкалы средства измерения. Таким образом, согласно результатам измерений, за нижний показатель было принято водоцементное соотношение 0,3, за верхний – 0,40 (Таблица 1). Первый этап относится к изыскательному, целью которого является оценка изменения сроков схватывания при фиксированных значениях водоцементных соотношений растворов разной зольной концентрации, а верхний и нижний показатель необходим для определения закономерности, для выявления которой достаточно хотя бы наличие двух вариативных показателя.

– Второй этап (Рисунок 1В) представляет собой адаптированные испытания классических испытаний сроков схватывания, отличающиеся от стандартных размерами чаш в которых помещают опытный раствор (диаметр составляет 40 мм, высота раствора – 20 мм). Другим отличием испытаний является водоцементное соотношение, которое было подобрано по результатам предварительных испытаний растворов на расплыв (Таблица 2). Данные водоцементные соотношения были откорректированы из условия их соответствия расплыву стандартного цементного раствора без добавления зольного компонента. Второй этап относится к исследовательскому, целью которого является оценка полученных водоцементных соотношений методом расплыва, а также оценка применимости самого метода расплыва к зольно-цементным растворам, реология и тиксотропность которого может отличаться от классического цементного. Другими словами, полученные результаты расплыва показывают вязкость раствора сразу после затворения, результаты же сроков схватывания показывают изменение агрегатного состояния (косвенно вязкость в том числе) по истечении времени. Изменение размерности чаш является частью третьего этапа исследования, но не противоречит цели второго этапа.

– Третий этап (Рисунок 1В) представляет собой также адаптацию испытаний сроков схватывания, отличается от предыдущих этапов еще меньшей размерностью чаш (диаметр составляет 30 мм, высота раствора – 20 мм). Соотношения компонентов раствора, также как водоцементные соотношения, аналогичны второму этапу (Таблица 3). Целью третьего этапа является оценка влияния эффекта масштабирования, то есть насколько влияют размеры образца на результаты испытаний. Фактически, размеры образцов малы по отношению к конструкциям, для удобства возведения которых производят данные испытания подвижности смеси. Предположительно, размеры образцов могут влиять на сроки схватывания и его характер (например, от ядра к периферии). В лабораторных условиях можно подтвердить или опровергнуть данную

гипотезу, поэтому для качественной оценки гипотезы достаточным будет сравнение результатов ряда испытаний разных по размеру опытных образцов (получение количественной оценки, пригодной для перехода к размерам реальных конструкций, в лабораторных условиях является затруднительным). Соотношение масштабов этапа 2 и 3 составляют: 0,75. Важным условием будет параллельное проведение испытаний больших и малых образцов одного замеса (для исключения случайной ошибки, связанной с погрешностью в количественном составе разных замесов). Цель третьего этапа обобщает общую цель исследования – насколько результаты испытаний малых образцов применимы к возводимым конструкциям большого размера.



Рисунок 1 – Проведение испытаний

Таблица 1 – Соотношения компонентов раствора первой стадии

Тип, номер	Зола		Цемент (ПЦ400 Д0)		Вода			
	грамм	%	грамм	%	Нижний показатель		Верхний показатель	
					грамм	%	грамм	%
Тип 1	0	0	400	100	120	0,30	160	0,40
Тип 2	16	4	384	96	120	0,30	160	0,40
Тип 3	32	8	368	92	120	0,30	160	0,40
Тип 4	40	10	360	90	120	0,30	160	0,40
Тип 5	80	20	320	80	120	0,30	160	0,40
Тип 6	120	30	280	70	120	0,30	160	0,40
Тип 7	160	40	240	60	120	0,30	160	0,40

Таблица 2 – Соотношения компонентов раствора второй стадии

Тип, номер	Зола		Цемент (ПЦ400 Д0)		Вода			
	грамм	%	грамм	%	Нижний показатель		Верхний показатель	
					грамм	%	грамм	%
Тип 1	0	0	100	100	30,00	0,3000	32,25	0,3225
Тип 2	4	4	96	96	30,57	0,3057	32,98	0,3298
Тип 3	8	8	92	92	31,14	0,3114	33,80	0,3380
Тип 4	10	10	90	90	31,42	0,3142	34,12	0,3412
Тип 5	20	20	80	80	33,06	0,3306	37,01	0,3701
Тип 6	30	30	70	70	34,96	0,3496	40,12	0,4012
Тип 7	40	40	60	60	36,34	0,3634	41,94	0,4194

Таблица 3 – Соотношения компонентов раствора третьей стадии

Тип, номер	Зола		Цемент (ПЦ400 Д0)		Вода			
	грамм	%	грамм	%	Нижний показатель		Верхний показатель	
					грамм	%	грамм	%
Тип 1	0,0	0	75,0	100	22,50	0,3000	24,19	0,3225
Тип 2	3,0	4	72,0	96	22,93	0,3057	24,73	0,3298
Тип 3	6,0	8	69,0	92	23,36	0,3114	25,35	0,3380
Тип 4	7,5	10	67,5	90	23,56	0,3142	25,59	0,3412
Тип 5	15,0	20	60,0	80	24,80	0,3306	27,75	0,3701
Тип 6	22,5	30	52,5	70	26,22	0,3496	30,09	0,4012
Тип 7	30,0	40	45,0	60	27,25	0,3634	31,46	0,4194

Результаты испытаний. На всех диаграммах сроков схватывания первому пику соответствует начало схватывания, второму – конец. Расположение типов сравниваемых растворов в порядке возрастания снизу-вверх, где красной соответствует тип 1 – стандартный водоцементный раствор, относительно которого делаются сравнения.

На рисунке 2 представлены результаты первого этапа исследования. На рисунке 1А показаны вариации начал и концов сроков схватывания, а также их продолжительность в зависимости от процентного содержания зольного компонента, а также диаграммы зависимости показателей сроков схватывания по концентрации золы, соответствующие нижнему показателю водоцементного соотношения 0,3 (120г). На рисунке 1В те же показатели для верхнего показателя водоцементного соотношения 0,4 (140г).

Согласно результатам испытаний у образцов с водовяжущим соотношением по нижнему показателю наблюдается сокращение сроков схватывания в зависимости от концентрации зольного компонента. Результаты по верхнему показателю имеют обратную зависимость – увеличение показателей сроков схватывания по увеличению зольной концентрации. Поскольку водовяжущее соотношение для всех составов

имеет фиксированное значение, равное 0,3 и 0,4, то изменение показателей сроков схватывания свидетельствуют о влиянии зольного компонента на изменение агрегатного состояния раствора по истечении времени. Коэффициенты корреляций между зольной концентрацией и началом сроков схватывания по нижнему показателю составляет -0,81, а концов сроков составляет -0,88. Отрицательное значение коэффициента корреляции свидетельствует об обратной пропорциональности зависимости, а высокое значение (близкое к 1) – о закономерности зависимости, то есть, чем больше содержание золы, тем быстрее происходит схватывание раствора. Коэффициенты корреляций между зольной концентрацией и началом сроков схватывания по верхнему показателю составляет 0,97, а концов сроков составляет 0,92. Положительное значение коэффициента корреляции свидетельствует о пропорциональности зависимости, а высокое значение (близкое к 1) – о закономерности зависимости, то есть, чем больше содержание золы, тем дольше происходит схватывание раствора. Разная пропорциональность зависимостей объясняется влиянием количества воды на сроки и характер схватывания.

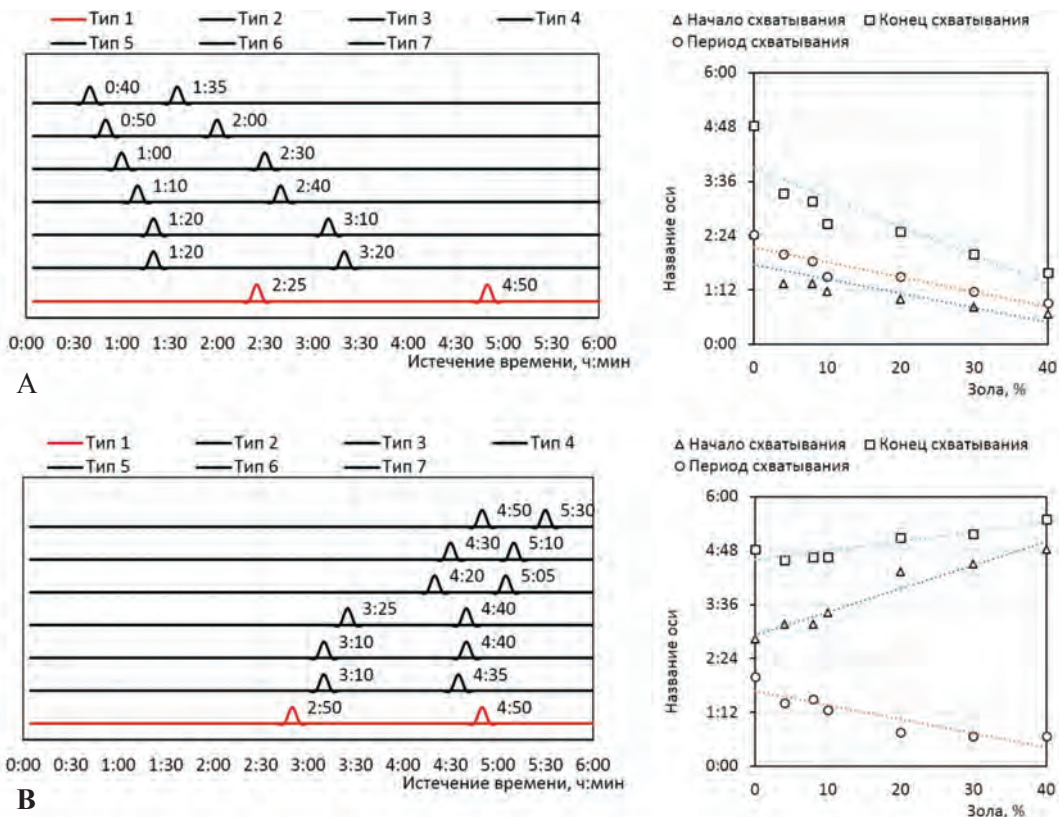


Рисунок 2 – Результаты испытаний сроков схватывания первого этапа исследования

Результаты статистической обработки также подтверждают наличие зависимости, свидетельствуют о низкой сходимости частных значений показателей сроков схва-

тывания: квадратичное отклонение частных значений начал схватываний составляет – 34,3 и 47,2 (по нижнему и верхнему показателям соответственно), коэффициент вариации – 45,7 и 20,9 %, при среднем значении – 75,0 и 225,0 минут; квадратичное отклонение частных значений концов схватываний составляет – 63,3 и 19,7, коэффициент вариации – 36,9 и 6,8 %, при среднем значении – 172,1 и 291,4 минут; квадратичное отклонение частных значений периодов схватываний составляет – 30,5 и 30,44 минут, коэффициент вариации – 31,4 и 43,1, при среднем значении – 97,1 и 70,7 минут.

На рисунке 3 и 4 представлены результаты испытаний второго этапа исследования. На рисунке 3 представлены результаты сроков схватывания по нижним показателям водовяжущего соотношения (минимальный расплыв, соответствующий минимальному радиусу измерительной шкалы), а на рисунке 4 – те же результаты по верхним показателям. На рисунке 3А – показаны вариации начал и концов сроков схватывания, а также их продолжительность в зависимости от процентного содержания зольного компонента. На рисунке 3В показаны диаграммы зависимости показателей сроков схватывания по концентрации золы (при индивидуальном, ранее определенном водоцементным соотношениям). На рисунке 3А и 3Б представлены те же показатели, соответствующие верхним показателем водовяжущих соотношений.

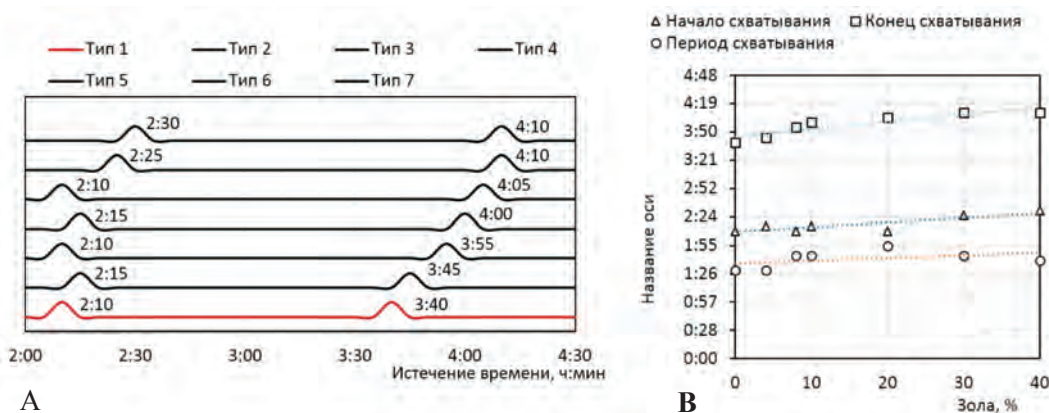


Рисунок 3 – Результаты второго этапа по нижним показателям водовяжущих соотношений

Сравнения частных значений начал сроков схватывания образцов по нижним показателям водовяжущих соотношений (Рисунок 3) показали очень тесную связь, а, следовательно, высокую степень соответствия эталонному раствору. Максимальное абсолютное отклонение частных значений составляет менее 14 минут, при среднем – 136,4 минуты. Квадратичное отклонение не превышает 8,0, а коэффициент вариации равен 5,9%. Частные значения концов сроков схватывания также имеют тесную связь, о чем свидетельствуют статистические показатели: абсолютное отклонение частных значений составляет менее 18 минут, при среднем – 237,9 минут; квадратичное отклонение не превышает 12,0, а коэффициент вариации равен 5,0%. Тесная связь наблюдается и при сравнении частных значений продолжительности сроков схватывания: отклонение частных значений составляет менее 14 минут, при среднем – 101,4 мину-

ты; квадратичное отклонение не превышает 9,0, а коэффициент вариации равен 8,9%. Отклонения частных значений всех показателей от 5 до 9 %, что говорит о высокой сходимости результатов и достоверности прогнозируемого водовяжущего соотношения, определенного измерениями подвижности методом расплыва смеси.

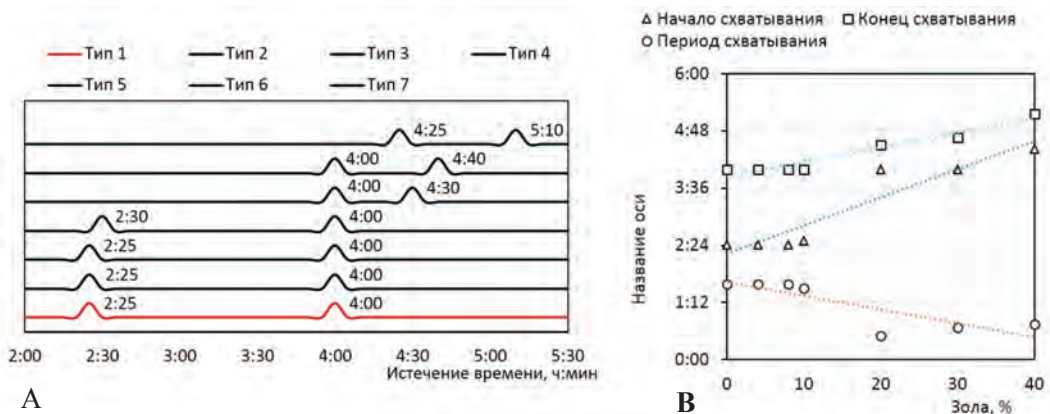


Рисунок 4 – Результаты второго этапа по верхним показателям водовяжущих соотношений

Частные значения начал сроков схватывания образцов по верхним показателям водовяжущих соотношений (Рисунок 3) имеют следующие статистические показатели: максимальное абсолютное отклонение частных значений начал сроков схватывания составляет 75 минут, при среднем – 190 минут, квадратичное отклонение – 55,2, коэффициент вариации – 29,1%; максимальное абсолютное отклонение частных значений концов сроков схватывания – 50 минут, при среднем – 260 минут, квадратичное отклонение – 27,7, коэффициент вариации – 10,6%; максимальное абсолютное отклонение частных значений периодов схватывания – 25 минут, при среднем – 70 минут, квадратичное отклонение – 30,0, коэффициент вариации – 42,9%. В отличие от нижних показателей имеют от средней до слабой связи частных значений, если рассматривать в пределах всего диапазона зольной концентрации. Более-менее тесная связь просматривается в диапазоне от 0 до 10% зольной концентрации, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 0 до 2,5, а коэффициенты вариаций от 1,7 до 2,5%. Меньшая связь наблюдается в диапазоне от 20 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 7,6 до 20,8, а коэффициенты вариаций – от 5,8 до 19,9%. Из вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости корректировки водовяжущего соотношения по верхним показателям для 20, 30 и 40 % зольной концентрации в сторону уменьшения.

На рисунке 5 и 6 представлены результаты испытаний третьего этапа исследования. На рисунке 5 представлены результаты сроков схватывания по нижним показателям водовяжущего соотношения (минимальный расплыв соответствующий минимальному радиусу измерительной шкалы), а на рисунке 6 – те же результаты по верхним показателям. На рисунке 5А и 6А – показаны вариации начал и концов сроков схватывании, а также их продолжительностей в зависимости от процентного

содержания зольного компонента. На рисунке 5В и 6В показаны диаграммы зависимости показателей сроков схватывания по концентрации золы.

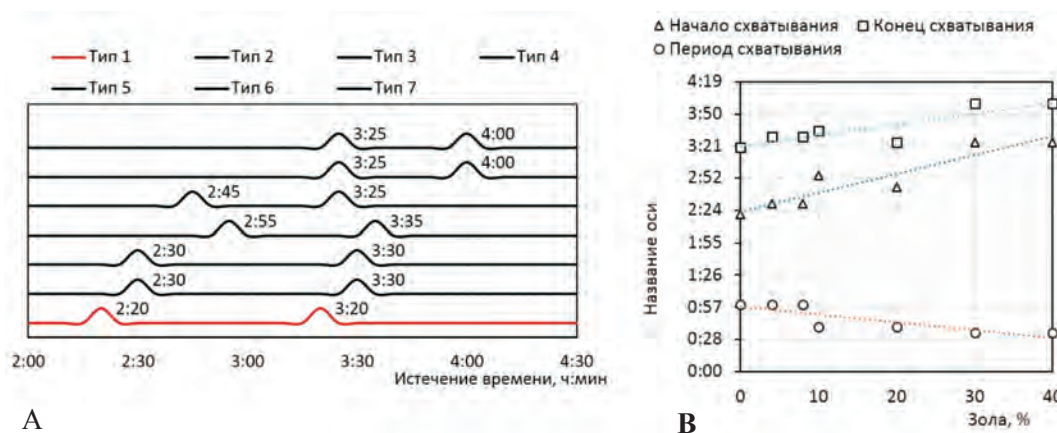


Рисунок 5 – Результаты третьего этапа по нижним показателям водовяжущих соотношений

Сравнения частных значений начал сроков схватывания (Рисунок 5) показали среднюю связь, если рассматривать в пределах всего диапазона зольной концентрации: максимальное абсолютное отклонение частных значений начал сроков схватывания составляет 35 минут, при среднем – 170 минут, квадратичное отклонение – 26,5, коэффициент вариации – 15,6%; максимальное абсолютное отклонение частных значений концов сроков схватывания – 22,9 минут, при среднем – 217,1 минут, квадратичное отклонение – 16,3, коэффициент вариации – 7,5%; максимальное абсолютное отклонение частных значений периодов схватывания – 25 минут, при среднем – 12,9 минут, квадратичное отклонение – 12,2, коэффициент вариации – 25,9%. Тесная связь просматривается, если рассмотреть частные значения в пределах трех диапазонов: от 0 до 8%, от 10 до 20% и от 30 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 0 до 2,5, а коэффициенты вариаций от 1,7 до 2,5%. Меньшая связь наблюдается в диапазоне от 20 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 0 до 7,1, а коэффициенты вариаций от 0 до 4,2%. В целом результаты вполне удовлетворительные, расхождения частных значений приемлемое, учитывая результаты испытаний второго этапа можно предположить о незначительном влиянии масштабов образцов на сроки схватывания при большой концентрации зольного компонента.

Частные значения начал сроков схватывания образцов по верхним показателям водовяжущих соотношений (Рисунок 6) имеют следующие статистические показатели: максимальное абсолютное отклонение частных значений начал сроков схватывания составляет 51,4 минуты, при среднем – 233,6 минут, квадратичное отклонение – 34,0, коэффициент вариации – 14,6%; максимальное абсолютное отклонение частных значений концов сроков схватывания – 70 минут, при среднем – 325 минут, квадратичное отклонение – 33,0, коэффициент вариации – 12,2%; максимальное абсолютное отклонение частных значений периодов схватывания – 8,6 минут, при среднем – 36,4 ми-

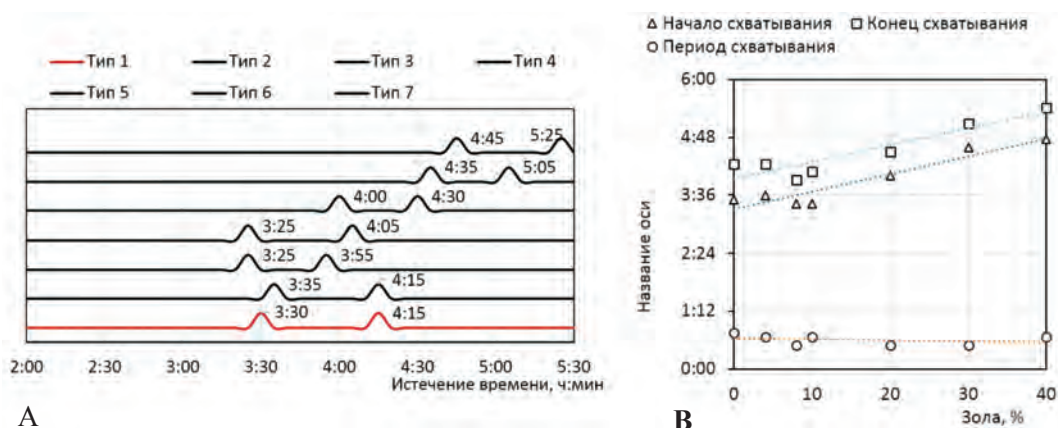


Рисунок 6 – Результаты третьего этапа по верхним показателям водовяжущих соотношений

нуты, квадратичное отклонение – 6,3, коэффициент вариации – 17,2%. В отличие от нижних показателей имеют более тесную связь частных значений (максимальный коэффициент вариации – 17,2%, тогда как у нижних – 29,5%), если рассматривать в пределах всего диапазона зольной концентрации. В целом результаты статистики имеют высокое сходство с результатами второго этапа (по верхним показателям), где также наблюдается тесная связь в диапазоне от 0 до 10% зольной концентрации: квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 4,8 до 9,6, а коэффициенты вариаций от 2,3 до 16,2%. Также связь наблюдается в диапазоне от 20 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 5,8 до 27,8, а коэффициенты вариаций – от 8,9 до 17,3%. Высокие значения коэффициентов вариаций отчасти из-за относительно небольшого периода схватывания и кратности измерения 5 минут. Полученные результаты подтверждают ранее сделанное предположение о необходимости корректировки водовяжущего соотношения по верхним показателям для 20, 30 и 40 % зольной концентрации в сторону уменьшения.

Для сравнения результатов этапов 2 и 3 (оценка влияния масштаба образцов) представлены табулированные частные значения, поскольку сравнительные диаграммы имеют слабую связь рядов сравниваемых прогрессий (изменений показателей сроков схватываний по зольной концентрации в пределах соразмерных образцов, таблица 4). В правой части таблицы представлены сравниваемые частные значения начала, конца и периодов схватывания, соответствующие нижним показателям водовяжущих соотношений, в правой – те же значения для верхних показателей. Буквенные обозначения D и d означают большой и малый образец соответственно, \bar{x} – среднее значение, σ – квадратичное отклонение, V_{σ} – коэффициент вариации.

Таблица 4 – Сравнения этапов 2 и 3

По нижним показателям, минуты						По верхним показателям, минуты					
Начало		Конец		Период		Начало		Конец		Период	
D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d
130	140	220	200	90	60	145	210	240	255	95	45
135	150	225	210	90	60	145	215	240	255	95	40
130	150	235	210	105	60	145	205	240	235	95	30
135	175	240	215	105	40	150	205	240	245	90	40
130	165	245	205	115	40	240	240	270	270	30	30
145	205	250	240	105	35	240	275	280	305	40	30
150	205	250	240	100	35	265	285	310	325	45	40
Статистические показатели отношений D/d											
$\bar{x} = 0,81$		$\bar{x} = 1,10$		$\bar{x} = 0,30$		$\bar{x} = 0,80$		$\bar{x} = 0,97$		$\bar{x} = 1,91$	
$\sigma = 0,09$		$\sigma = 0,05$		$\sigma = 0,69$		$\sigma = 0,13$		$\sigma = 0,04$		$\sigma = 0,79$	
$V\sigma = 10,52$		$V\sigma = 4,89$		$V\sigma = 29,79$		$V\sigma = 16,37$		$V\sigma = 3,80$		$V\sigma = 41,30$	

Согласно статистическим данным, наблюдается средняя сходимость начал и концов схватывания (при средней до тесной связи в обоих случаях водовяжущих пределов). Значения начал схватывания всех малых образцов превышают значения больших образцов от 7 до 41% (для нижнего показателя) и от 0 до 48% (для верхнего). В отличие от начал значения концов схватываний больших образцов превышают значения малых образцов от 4 до 19% (для нижнего показателя) и от -9 до 2 % (для верхнего). Данная закономерность превышений начал сроков, а впоследствии, наоборот, концов сроков свидетельствуют о небольшом, но влиянии размерности образцов на результаты измерений, что также подтверждается большим разбегом данных периодов схватываний, варьирующихся от 50 до 300% (для нижнего показателя) и от 0 до 320 % (для верхнего). Выявленное небольшое различие может быть связано с небольшим различием между размерами образцов, для более точного эффекта масштабирования необходимо провести дополнительный комплекс исследований с увеличением разницы масштабов образцов.

Заключение. Результаты испытаний сроков схватывания образцов (с разным процентным содержанием зольного компонента) на стандартном приборе Вика свидетельствуют о влиянии золы на показатели сроков схватывания. Степень влияния зависит не только от концентрации зольного компонента, а в большей степени от водовяжущего соотношения. То есть, при низком содержании воды, абсорбирующие свойства золы становятся доминирующими, в результате твердение (или правильной, в данном случае, изменение агрегатного состояния) образца происходит по причине физического усыхания материала, нежели от твердения в результате кристаллизации цементного раствора. При верхнем показателе водовяжущего соотношения наблюдается противоположная закономерность, показатели схватывания увеличиваются относительно эталонного раствора (водоцементного), то есть, чем больше содержание

зола, тем больше сроки схватывания. Избыток воды в данном случае компенсирует абсорбирующую потребность зола, усыхания образца не происходит, схватывание образцов происходит уже за счет кристаллизации цемента в процессе гидратации. Следовательно, в случае высокого содержания воды, при увеличении зольного компонента и сопутствующего уменьшения цемента, сроки схватывания увеличиваются. Таким образом, при включении зола в состав бетона подбор водоцементного соотношения рекомендуется выполнять с учетом абсорбирующих свойств зольного компонента.

Результаты второго этапа подтвердили необходимость индивидуального подбора водовяжущего соотношения в зависимости от концентрации зола в составе. Полученные по результатам испытаний подвижности смеси данные по водовяжущему соотношению, в большей степени подтвердились результатами испытаний сроков схватывания. Большая сходимость результатов наблюдалась у значений начал сроков схватывания, меньшая – у концов сроков, а периоды схватываний подлежат дальнейшей корректировке (в частности, составов с большой зольной концентрацией).

Результаты третьего этапа подтвердили предположение о влиянии эффекта масштабирования. Выявленная закономерность превышений начал сроков малых образцов относительно больших, а впоследствии, наоборот, концов сроков свидетельствуют о небольшом, но влиянии размерности образцов на результаты измерений, что также подтверждается большим разбегом данных периодов схватываний. Также было выявлено влияние размеров образцов на характер схватывания, который отчетливо наблюдался при испытании классических образцов (наибольшего размера из трех этапов). При измерении классических образцов наибольших размеров схватывание очевидно прослеживалось от середины образца к периферии, тогда как у образцов меньших размеров данный эффект не был ярко выраженным.

В процессе исследования была выдвинута гипотеза о разном характере твердения, зависящая от степени водонасыщения смеси, которая может быть вызвана либо недостаточностью воды (в результате абсорбции), либо в результате кристаллизации цемента. Оценочным критерием анализа характера твердения может быть оценка измерений прочности образцов по истечению времени при разных значениях водовяжущих соотношений.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ароводжолу О., Ибрагим А., Альмакраб А., Сарас Н., и Нильсен Р. (2021). Влияние отношения пролета сдвига к эффективной глубине на поведение высокопрочных железобетонных балок. *Международный журнал бетонных конструкций и материалов*, 15(1) doi:10.1186/s40069-020-00444-7

2 Соса И., Тамайо П., Сайнс-Айя Дж. А., Томас С., Сетьен, Дж., & Поланко Дж. А. (2021). Аспекты долговечности в самоуплотняющемся бетоне из сидерорганического заполнителя. *Журнал строительной инженерии*, 39 doi:10.1016/j.job.2021.102268

3 Дольняк, Дж., Лиштяк, М., Сланинка, А., & Нечас, В. (2019). Определение профиля активности ^{137}CS в образцах бетонного керна. *Дозиметрия радиационной защиты*, 186(2-3), 306-309. doi:10.1093/rpd/ncz223

4 Лотфи-Омран, О., Садрмомтази, А., и Никбин, И. М. (2019). Комплексное исследование влияния соотношения воды и цемента на механические и радиационно-защитные свойства тяжелого бетона. Строительство и строительные материалы, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116905

5 Лукпанов Р.Е., Дюсембинов Д.С., Сабитов Е.Е. Комплексная модифицированная добавка для тяжелого бетона. Патент №33533

6 Ченг, Ю., Лю, С., Чжу, Б., Лю, Р., и Ван, Ю. (2019). Подготовка предварительно уложенного заполнителя бетона и экспериментальное исследование его прочности. Строительство и строительные материалы, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116847

7 ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии

8 ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема

REFERENCES

1 Arowojolu, O., Ibrahim, A., Almakrab, A., Saras, N., & Nielsen, R. (2021). Influence of shear span-to-effective depth ratio on behavior of high-strength reinforced concrete beams. International Journal of Concrete Structures and Materials, 15(1) doi:10.1186/s40069-020-00444-7

2 Sosa, I., Tamayo, P., Sainz-Aja, J. A., Thomas, C., Setién, J., & Polanco, J. A. (2021). Durability aspects in self-compacting siderurgical aggregate concrete. Journal of Building Engineering, 39 doi:10.1016/j.jobe.2021.102268

3 Dolniak, J., Lištjak, M., Slaninka, A., & Nečas, V. (2019). DETERMINATION OF ACTIVITY PROFILE OF ¹³⁷CS IN CONCRETE CORE SAMPLES. Radiation Protection Dosimetry, 186(2-3), 306-309. doi:10.1093/rpd/ncz223

4 Lotfi-Omran, O., Sadrmomtazi, A., & Nikbin, I. M. (2019). A comprehensive study on the effect of water to cement ratio on the mechanical and radiation shielding properties of heavyweight concrete. Construction and Building Materials, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116905

5 Lukpanov R.E., Dyusembinov D.S., Sabitov E.E. Kompleksnaya modifitsirovannaya dobavka dlya tyazhelogo betona. Patent №33533

6 Cheng, Y., Liu, S., Zhu, B., Liu, R., & Wang, Y. (2019). Preparation of preplaced aggregate concrete and experimental study on its strength. Construction and Building Materials, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116847

7 GOST 310.4-81 Cementy. Metody opredeleniya predela prochnosti pri izgibe i szhatii

8 GOST 310.3-76 Cementy. Metody opredeleniya normal'noj gustomy, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob"ema

Р. Е. ЛУКПАНОВ, Д. С. ДЮСЕМБИНОВ

*Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ЕНУ-Lab
ғылыми-өндірістік орталығы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ҚОСПАНЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, БЕТОН ҚҰРАМЫНДАҒЫ КҮЛ КОМПОНЕНТІНІҢ ПАЙЫЗДЫҚ МӨЛШЕРІНЕ СУ БАЙЛАНЫС ТЫРҒЫШТЫҢ ТӘУЕЛДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Мақалада бетонның құрамындағы цемент-күл байланыстырғышын зерттеу келтірілген, оны кешенді модификацияланған қоспаны (КМД) қолданған жағдайда қолдану ұсынылады. Зерттеудің мақсаты әр түрлі күл концентрациясының қоспасын орнату уақытына су байланыстырғышты

бағалау болып табылады. Өлшеу Стандартты және бейімделген әдістерге сәйкес стандартты Вика құрылғысында үш кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде әр түрлі күл концентрациясының қоспасын орнату уақытына су байланыстырғышқа баға беріледі. Екінші кезеңде күл-цемент ерітінділеріне булану әдісінің қолданылуына баға беріледі. Үшінші кезең үлгілер өлшемдерінің орнату мерзімдері туралы нақты деректерге әсерін бағалауды, яғни шағын үлгілерді сынау нәтижелері салынған үлкен өлшемді конструкцияларға қаншалықты қолданылатынын қамтиды. Барлық үш кезеңнің нәтижелері бойынша күл компонентінің пайыздық құрамы, су байланыстырғыш қатынасы мен орнату мерзімінің көрсеткіштері (басталу, аяқталу және орнату кезеңі) арасындағы байланыс алынды.

Түйін сөздер: цемент, күл, қоспа, тұтқырлық, су тұтқыш (су цементті) қатынасы, орнату мерзімі.

RAUAN E. LUKPANOV, DUMAN S. DUSEMBINOV

*Scientific and industrial center ENU-Lab, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Kazakhstan*

RESE ASSESSMENT OF THE DEPENDENCE OF THE WATER-BINDER RATIO ON THE PERCENTAGE OF ASH COMPONENT IN THE COMPOSITION OF CONCRETE WITH THE USE OF A MODIFIED ADDITIVE

The article presents studies of cement-ash binder in the composition of concrete, which is recommended to be used under the condition of using a complex modified additive (CMD). The aim of the research is to evaluate the water-binder ratio on the setting time of the mixture of different ash concentrations. Measurements were made on a standard Vic, using standard and adapted methods in three stages. In the first phase the water-binder ratio was evaluated with regard to the setting times of mixtures with different ash contents. The second phase evaluated the applicability of the spraying method to ash-cement mortars. The third stage involved an evaluation of the effect of specimen size on the actual setting time data, that is, the extent to which the test results of small specimens are applicable to large-sized structures being erected. Based on the results of all three phases, relationships were obtained between the percentage of ash content, the water-binder ratio and the setting times (beginning, end and setting period).

Keywords: cement, ash, mixture, viscosity, water-cement ratio, setting time.

НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 620.22(063)

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.109>

**Қ.Т. МУХАНБЕТЖАНОВА*, Н.А. САТЫБАЕВА,
А.Е. ТУРЕШОВА, Е.Т. ЕРБАЕВ**

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет, Уральск, Казахстан

*karlam1994@mail.ru
satybaeva_nur@mail.ru
aria_ok_90@mail.ru
erbol.erbaev@mail.ru*

ДИСПЕРСИОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛА

В работе использовали три нанопорошка: никеля (Ni), меди (Cu) и цинка (Zn), полученные методом электрического взрыва проволоки в инертной среде (ООО «Передовые порошковые технологии», www.nanosized-powders.com, г. Томск, РФ).

Определение микроструктурных характеристик поверхности нанопорошков производилось с помощью электронного сканирующего микроскопа высокого разрешения Merlin (Carl Zeiss, Германия) со спектрометрами Нано-Центра ТГУ им. Г.Р. Державина, г. Тамбов. С помощью метода низкотемпературной адсорбции азота определяли величину удельной поверхности порошков ($S_{уд}$). Для определения дисперсионных свойств нанопорошка никеля использовали метод лазерной дифракции.

Целью работы являлось установление влияния концентрации и состава наночастиц металлов в питательной среде на агрегацию наночастиц. Для достижения цели, в первую очередь, необходимо было охарактеризовать объекты исследования. Важно было понять микроструктуру нанопорошка. И в разной концентрации нанопорошка никеля с помощью методом лазерной дифракций определяли средний размер нанопорошка Ni.

Ключевые слова: *нанопорошки, средний размер, агрегация, лазерная дифракция, микроскопия.*

Введение. Развитие и внедрение нанотехнологий привело к необходимости изучения влияния техногенных наночастиц на жизнедеятельность живых организмов, в том числе растений [1,2]. К основным свойствам коллоидных систем относят гетерогенность, повышенную поверхностную энергию, адсорбцию и агрегацию [3].

В силу большого числа наночастиц в настоящее время до сих пор недостаточно данных по дисперсионным и фитобиологическим свойствам наночастиц, которые позволили бы прогнозировать потенциальное воздействие вновь производимых наноматериалов на окружающую среду.

Коагуляция (агрегация) – это самопроизвольный процесс уменьшения степени дисперсности дисперсной фазы (т.е. объединение частиц в более крупные агрегаты).

* E-mail корреспондирующего автора: karlam1994@mail.ru

Коагуляция частиц может быть гомогенной (коагуляция частиц одного типа) и гетерогенной (взаимодействие частиц разной структуры и разных фаз) [4].

С точки зрения термодинамики агрегативная неустойчивость коллоидных систем обусловлена положительной свободной поверхностной энергией, сосредоточенной на межфазной поверхности. Так как все системы, обладающие свободной избыточной энергией, неустойчивы, это обуславливает способность коллоидных систем коагулировать. Однако термодинамическое толкование недостаточно для описания процесса, так как только на его основе нельзя определить механизм и скорость, то есть кинетику процесса [3].

При этом, благодаря избыточной поверхностной энергии, частицы нанопорошков активно взаимодействуют между собой, слипаются и образуют агрегаты. Поэтому в ряде применений для предотвращения взаимодействия наноразмерных частиц их удобно использовать в виде суспензий. Однако особенности поведения нанопорошков в водных суспензиях и закономерности их стабилизации изучены недостаточно, что не позволяет готовить суспензии наночастиц, безопасные для растений, и применять их на практике.

Задача написания статьи – определить морфологию электровзрывных металлических нанопорошков Ni, Cu и Zn с помощью сканирующей электронной микроскопии и низкотемпературной адсорбции азота и оценить влияние концентрации на степень агрегации наночастиц никеля в питательной среде методом лазерной дифракций.

Целью работы являлось установление влияния концентрации и состава наночастиц металлов в питательной среде на агрегацию наночастиц.

Материалы и методы

Объекты исследования. В работе использовали три нанопорошка: никеля (Ni), меди (Cu) и цинка (Zn), полученные методом электрического взрыва проволоки в инертной среде (ООО «Передовые порошковые технологии», www.nanosized-powders.com, г. Томск, РФ).

Нанопорошки были получены в результате взрыва соответствующей металлической проволоки в среде аргона при избыточном давлении $1,52 \cdot 10^5$ Па, зарядном напряжении емкостного накопителя 24 кВ (диаметр проводника 0,3 мм, длина – 75 мм). Температура при взрыве составляла 10^4 К, скорость разлета продуктов взрыва – 1-2 км/с. Для стабилизации нанопорошков на частицы наносили оксидную пленку малыми порциями воздуха.

Исследования физико-химических свойств наночастиц

Электронная микроскопия. Определение микроструктурных характеристик поверхности нанопорошков производилось с помощью электронного сканирующего микроскопа высокого разрешения Merlin (Carl Zeiss, Германия) со спектрометрами Нано-Центра ТГУ им. Г.Р. Державина, г. Тамбов. Максимальное разрешение микроскопа 1 нм. Перед съемкой на порошок, нанесенный тонким слоем на проводящий скотч, напыляли пленку углерода; съемку проводили при ускоряющем напряжении 0,1...20 кВ.

Низкотемпературная адсорбция азота (метод БЭТ). С помощью метода низкотемпературной адсорбции азота определяли величину удельной поверхности порошков ($S_{уд}$). Этот метод основан на теории молекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета,

Теллера (теория БЭТ, метод БЭТ), суть которой сводится к измерению объема газообразного азота, адсорбированного твердым телом при температуре жидкого азота. Измерения проводили не менее трех раз с помощью прибора SorbiPrep (МЕТА, Россия), погрешность измерения составляла 0,2 м²/г.

Полученное значение $S_{уд}$ использовали для вычисления условного среднеповерхностного размера частиц d , допуская, что все частицы одного диаметра и их форма сферическая по экспериментальной формуле:

$$d = \frac{6}{\rho \cdot S_{уд}}, \quad (1)$$

где d – среднеповерхностный диаметр, м; ρ – плотность материала; $S_{уд}$ – площадь удельной поверхности порошков, м²/кг.

Определение дисперсионных свойств наночастиц в суспензии. Метод лазерной дифракции использовали для проведения дисперсионного анализа концентрированных суспензий нанопорошка цинка. В основе метода лежит зависимость угла рассеяния света от размера агломератов. Измерение проводили на анализаторе частиц SALD-7101 (Shimadzu, Япония) для суспензий с содержанием нанопорошка 0,03 мас.% объемом 220 мл при включенной лопастной мешалке без УЗ-воздействия, т.к. ультразвук способствует дроблению агломератов. Результаты эксперимента представляли собой кривые объемного распределения частиц по размерам в диапазоне 0,01-300 мкм, по которым рассчитывали средний размер частиц по формуле:

$$d_{cp} = \sum d \cdot \frac{q(\%)}{100}, \quad (2)$$

где d – размер частиц в дисперсии, q – дифференциальный процент частиц с размером d в дисперсии.

Приготовление суспензий наночастиц. Для исследования физико-химических и биологических свойств наночастиц в суспензиях в работе готовили суспензии наночастиц на основе питательного раствора Хьюитта. Суспензии готовили путем добавления раствора Хьюитта к навеске нанопорошка в пластиковой емкости с закручивающейся крышкой объемом 60 мл. Концентрация наночастиц составляла 10...1000 мг/л. Взвешивание проводили на электронных лабораторных весах ALC-110d4 (Acculab, Россия, точность ±0,0001). После смешивания все суспензии обрабатывали в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 50 Вт) в течение часа при 25±2°C.

Суспензии использовали для анализа в течение 10 минут после приготовления. Вся посуда стерилизовалась в течение 24 часов в 2% растворе азотной кислоты и промывалась не менее трех раз в проточной воде. Неиспользованные суспензии утилизировались.

Результаты и их обсуждение. Целью работы являлось установление влияния концентрации и состава наночастиц металлов в питательной среде на агрегацию наночастиц. Для достижения цели, в первую очередь, необходимо было охарактеризовать объекты исследования. Важно было понять микроструктуру нанопорошка, поэтому в

разной концентрации нанопорошка никеля с помощью методом лазерной дифракций определяли средний размер нанопорошка Ni.

Характеристика наночастиц. Согласно данным СЭМ, частицы нанопорошка Ni имеют сферическую форму (рис. 1а), форма частиц Cu близка к сферической, но их поверхность – рыхлая, пористая и имеют огранку (рис. 1б), а форма частицы Zn близка к хлопьевидной (рис. 1в). Результаты расчета среднего размера частиц, по данным БЭТ, совпадают с результатами анализа СЭМ изображений (табл.1).

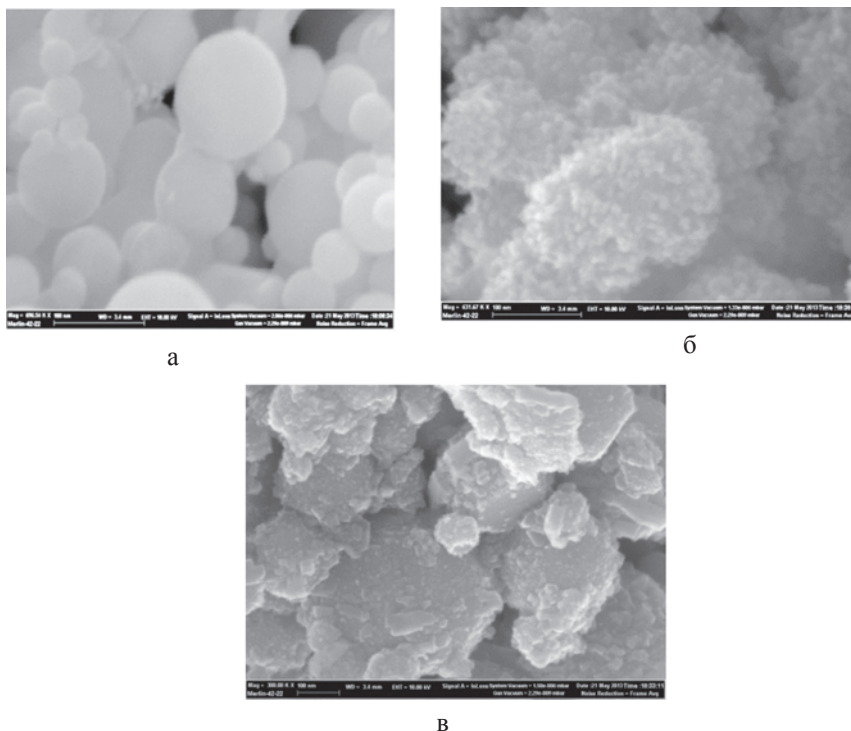


Рисунок 1 – СЭМ-изображения наночастиц Ni (а), Cu (б) и Zn (в)

Если принять степень агрегации как число частиц в агрегате, то анализ СЭМ-снимков позволяет определить, что для сухих нанопорошков Ni, Cu и Zn имеют степень агрегации 399, 534 и 918 соответственно.

Таблица 1 – Дисперсность наночастиц Ni, Cu и Zn

Образец	Метод БЭТ		СЭМ				Фазовый состав по данным производителя, мас. %
			частицы		агрегаты		
	Sуд, м ² /Г	d _{ср} , нм	d _{min} ...d _{max} , нм	d _{ср} , нм	d _{min} ...d _{max} , мкм	d _{ср} , мкм	
1	2	3	4	5	6	7	8
нанопорошок Ni	8,9	75	30...180	77,5	5...123	29,9	Ni – 95 NiO – 5

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
нанопорошок Cu	12,0	55	130...838	406	7...116	29,4	Cu – 98 CuO – 2
нанопорошок Zn	9,3	90	79...762	245	37...227	82,6	Zn – 95 ZnO – 5

Агрегация наночастиц в водных суспензиях. На примере нанопорошка Ni показано, что наночастицы при попадании в водные суспензии на основе раствора Хьюитта агломерируют. Так, по данным метода лазерной дифракции в суспензиях образуются дисперсные системы с преимущественно бимодальным распределением частиц по размерам от 64 до 2616 нм (рис. 2).

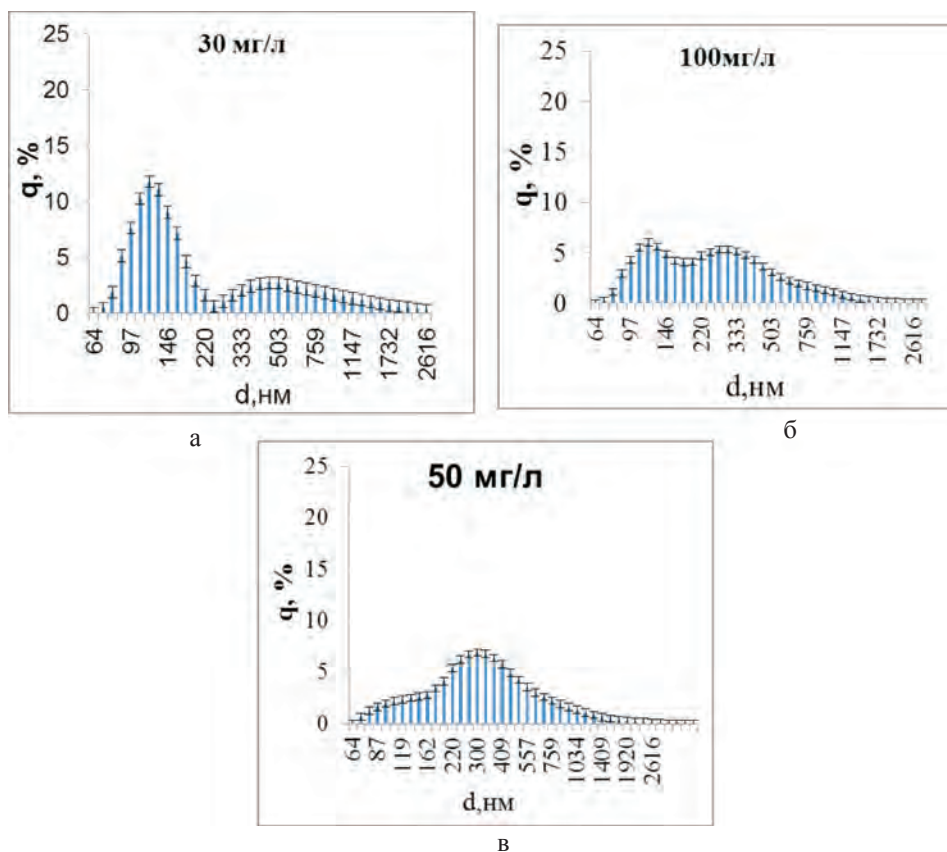


Рисунок 2 – Распределения агрегатов по размерам нанопорошка Ni в суспензиях с концентрацией частиц: а) 30 мг/л, б) 100 мг/л, в) 500 мг/л (ошибка в результате трех измерений в разные дни).

Влияние концентрации наночастиц на агрегацию суспензий. Несмотря на то, что в суспензиях с разной концентрацией нанопорошка характер распределения частиц по размерам не меняется и остается бимодальным (рис.3), параметры распреде-

ления отличаются. Так, с увеличением концентрации частиц постепенно уменьшается первый пик при 119 нм: в ряду концентраций 30...10...50 мг/л мода первого пика составляет 11,8...5,5...2,3 % (рис.3 а-в). При этом второй пик (300...400 нм) увеличивается и составляет 4,3...5,5...6,9 % (рис.3 а-в).

Обобщить влияние концентрации на агрегацию наночастиц можно на основании сравнения величины среднего размера частиц (d_{cp}). Установлено, что при увеличении концентрации от 30 до 100 мг/л происходит увеличение размеров агрегатов от 302 до 410 нм (на 36%). Далее в суспензиях с концентрацией 100...500 мг/л размер меняется слабо – не более 12%, а при концентрации > 500 мг/л величина d_{cp} не изменяется и остается 460 нм (рис.3).

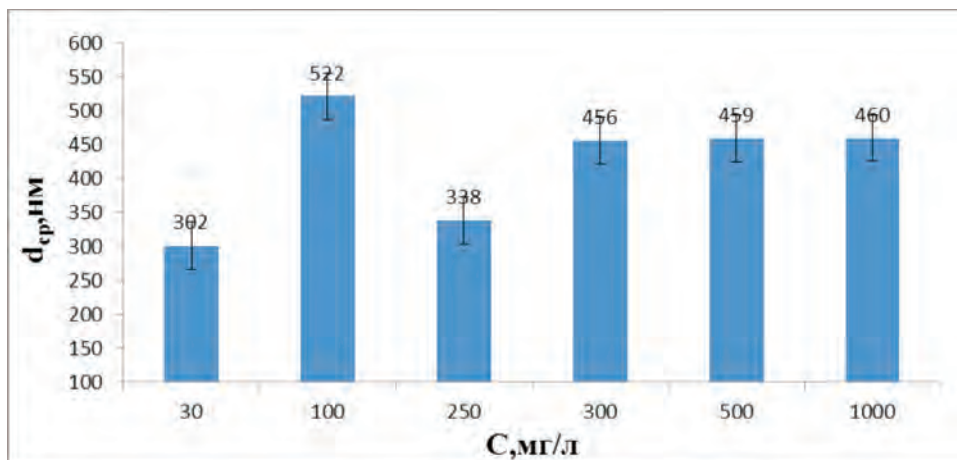


Рисунок 3 – Влияние концентрации суспензии нанопорошка Ni (C, мг/л) на средний размер агрегатов (d_{cp} , нм) (ошибка в результате трех измерений в разные дни).

Выводы. Целью работы являлось установление влияния концентрации и состава наночастиц металлов в питательной среде на агрегацию наночастиц. Для достижения цели, в первую очередь, необходимо было охарактеризовать объекты исследования. Важно было понять микроструктуру нанопорошка, поэтому в разной концентрации нанопорошка никеля с помощью методом лазерной дифракции определяли средний размер нанопорошка Ni. Результаты расчета среднего размера частиц, по данным БЭТ совпадают с результатами анализа СЭМ-изображений. Если принять степень агрегации как число частиц в агрегате, то анализ СЭМ снимков позволяет определить, что для сухих нанопорошков Ni, Cu и Zn имеют степень агрегации 399, 534 и 918 соответственно. На примере нанопорошка Ni показано, что наночастицы при попадании в водные суспензии на основе раствора Хьюитта агломерируют.

Обобщить влияние концентрации на агрегацию наночастиц можно на основании сравнения величины среднего размера частиц (d_{cp}). Установлено, что при увеличении концентрации от 30 до 100 мг/л происходит увеличение размеров агрегатов от 302 до 410 нм (на 36%). Далее в суспензиях с концентрацией 100...500 мг/л размер меняется слабо – не более 12%, а при концентрации > 500 мг/л величина d_{cp} не изменяется и остается 460 нм.

ЛИТЕРАТУРА

1 Линг Ю., Ятц Д. Характеристики поверхности частиц могут играть важную роль в фитотоксичности наночастиц алюминия // Журнал токсикологических писем. 2005. № 158. С. 122–132.

2 Чжу Х., Хан Дж., Сяо Дж. К., Цзинь Ю. Поглощение, транслокация и накопление наночастиц производимого оксида железа растениями тыквы // Журнал мониторинга окружающей среды. 2008. V. 10. С. 713-717.

3 А.Ю. Годымчук, Г.Г. Савельев, А.П. Зыкова / Экология наноматериалов. М.: БИНОМ., 2012. – 121 с.

4 Р. Д. Хэнди, Ф. фон дер Каммер, Дж. Р. Лид, М. Хасселлов, Р. Оуэн, М. Крейн Экотоксикология и химия производимых наночастиц // Экотоксикология. 2008. №.17. P.287-314.

REFERENCES

1 Ling Y., Yatts D. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles // Journal of Toxicology Letters. 2005. № 158. P.122–132.

2 Zhu H., Han J., Xiao J.Q., Jin Y. Uptake, translocation and accumulation of manufactured ironoxide nanoparticles by pumpkin plants // Journal of Environment Monitoring. 2008. V.10. P. 713–717.

3 A.YU. Godymchuk, G.G. Savel'ev, A.P. Zykova / Ekologiya nanomaterialov. M.: BINOM., 2012. – 121 s.

4 R.D. Handy, F. von der Kammer, J.R. Lead, M. Hasselov, R. Owen, M. Crane The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles // Ecotoxicology. 2008. №.17. P.287-314.

Қ. Т. МУХАНБЕТЖАНОВА, Н. А. САТЫБАЕВА, Е. Т. ЕРБАЕВ

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет, Уральск, Казахстан

МЕТАЛЛ НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ ДИСПЕРСИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Жұмыста қолданған үш наноұнтағы: никель (Ni), мыс (Cu) және мырыш (Zn) электр жарылысты сым (инертті ортада) әдісімен алынған. ("ЖШҚ Передовые порошковые технологии", www.nanosized-powders.com, Томск қ., РФ).

Микроструктуралық сипаттамаларын анықтау наноұнтақ бетіне жүргізілген электрондық сканерлік жоғары рұқсатты микроскоптың көмегімен жасалынды. Merlin (Carl Zeiss, Германия) спектрометрмен Нано-Орталығы " ТГУ им. Г. Р. Державин ат. Тамбов қ. Төмен температуралы азот адсорбция әдісінің көмегімен наноұнтағының меншікті бетінің ауданын (S_{уд}) анықтады. Никель наноұнтағының дисперстік қасиеттерін анықтау үшін лазерлік дифракция әдісі қолданылды.

Жұмыстың мақсаты қоректік ортадағы металл нанобөлшектерінің концентрациясы мен құрамының нанобөлшектердің агрегациясына әсерін анықтау болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін, ең алдымен, зерттеу объектілерін сипаттау қажет болды, наноұнтақтың микроқұрылымын түсіну маңызды болды және Ni наноұнтағының орташа мөлшері никель наноұнтағының әр түрлі концентрациясындағы лазерлік дифракциясы әдісінің көмегімен анықталды.

Түйін сөздер: наноұнтақтар, орташа өлшем, агрегация, лазерлік дифракция, микроскопия.

K. T. MUKHANBETZHANOVA, N. A. SATYBAEVA, A. E. TURESHOVA

West-Kazakhstan Agrarian-Technical University, Uralsk, Kazakhstan

DISPERSION PROPERTIES OF METAL NANOPARTICLES

Three nanopowders were used in the work: nickel (Ni), copper (Cu) and zinc (Zn), obtained by the method of electric explosion of a wire in an inert atmosphere (LLC Advanced Powder Technologies, www.nanosized-powders.com, Tomsk, RF)

Determination of the microstructural characteristics of the surface of nanopowders was carried out using a high-resolution scanning electron microscope Merlin (Carl Zeiss, Germany) with spectrometers from the Nano-Center of Tomsk State University. G.R. Derzhavin, Tambov. The specific surface area of the powders (S_{sp}) was determined using the method of low-temperature nitrogen adsorption, and the method of laser diffraction was used to determine the dispersion properties of nickel nanopowder.

The aim of the work was to establish the influence of the concentration and composition of metal nanoparticles in a nutrient medium on the aggregation of nanoparticles. To achieve this goal, first of all, it was necessary to characterize the objects of study, it was important to understand the microstructure of the nanopowder, and the average size of the Ni nanopowder was determined using laser diffraction at different concentrations of nickel nanopowder.

Keywords: *nanopowders, average size, aggregation, laser diffraction, microscopy.*

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 338.4

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.111>

Б. Ж. УТЕЕВ¹, С. С. АБИШОВА^{2*}, А. М. ТЛЕППАЕВ³

^{1,2} Халықаралық Бизнес Университеті, Алматы, Қазақстан

²Қазақ-Неміс Университеті, Алматы, Қазақстан

e-mail: bakytnur2013@mail.ru¹, salta_1990s@mail.ru¹, arsentlp@gmail.com³

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СЕКТОРДЫ ДАМУ ТҰРАҚТЫ ЖАҒДАЙЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Бұл мақалада салыстырмалы талдау әдісі, ақпаратты жүйелеу, сараптамалық бағалау, жоғары-төмен әдіснамаға негізделген теориялық-әдіснамалық тәсіл. Қазақстандағы энергетикалық сектордың жай-күйін талдау, отын-энергетикалық кешеннің дамуын талдау және Қазақстандағы энергетикалық сектордың тұрақты дамуын қамтамасыз ету қарастырылды. Ұлттық экономиканың барлық түрлерімен ұзақ мерзімді тұрақтылықпен қамтамасыз ету үшін экономикалық жағдайға және мақсатқа сай, табиғи энергетикалық ресурстарды барынша тиімді пайдалануды көздейтін ұзақ мерзімді мемлекеттік энергетикалық саясат қажет және энергетикалық сектордың әлеуеті бар. Бірыңғай экономикаға негізделген энергетикалық сектор кез-келген мемлекеттің саяси, экономикалық және әлеуметтік салаларында маңызды рөл атқарады. Энергетикалық сектордың сенімді және тиімді жұмыс істеуі, электр және жылу энергиясымен тұтынушыларды тұрақты жеткізу мемлекеттік экономика мен тұрғындардың өркеніетті өмір сүру жағдайларын қамтамасыз етуде маңызды фактор болып табылады.

Түйін сөздер: энергетикалық сектор, отын-энергетикалық кешені (ОЭК), жаңартылмаған энергия көздері; энергетикалық әлеует, энергия тиімділік.

Кіріспе. Кәсіпорындардың отын-энергетикалық кешенін тұрақты дамыту үшін оның техникалық жабдықтарын жаңғырту, қоршаған ортаның ластануын төмендететін технологиялық процестерді енгізу, қызметкерлердің біліктілігін арттыру, балама энергия көздерін дамыту және енгізу қажет. Әлемнің кез-келген еліндегі ұлттық экономика энергияны үнемдеудің тұрақты, сенімді және қолжетімді дамуына байланысты. Қазіргі әлемде адамзат ресурстық, климаттық, әлеуметтік, саяси, энергетикалық ішкі және сыртқы қақтығыстарды жоққа шығаратын тұрақты энергетикалық жүйеге көшу міндетімен бетпе-бет келеді [1].

Зерттеу әдіснамасы. Талдау жүргізу барысында салыстырмалы талдау әдісі, ақпаратты жүйелеу, сараптамалық бағалау, жоғары-төмен әдіснамаға негізделген теориялық-әдіснамалық тәсілдер қолданылды.

* E-mail корреспондирующего автора: Salta_1990s@mail.ru

Қазақстанның энергетикалық әлеуеті көптеген елдердің назарын аударарды және Қазақстан басшылығының табысты экономикалық саясаты қолайлы инвестициялық ахуалды қамтамасыз етеді. Бүгінде әлемдегі мұнай-газ компаниялары іс жүзінде Қазақстан Республикасының мұнай-газ секторын дамытуға қатысуға ниет білдіре алмады. Қазақстанның электр энергетикалық кешені жаңа жоғары тиімді технологиялар негізінде электр энергетикасының орнықты дамуын қамтамасыз ететін және энергетикалық қарқынды үнемі төмендететін динамикалық теңдестірілген жүйе ретінде қарастырылатын, экономиканың басым салаларының бірі болып табылады [2].

Талқылау және нәтижелер. Әлемдік нарықтағы қатаң бәсекелестікке қарамастан, кез-келген ел экономикалық өсу мен дамуға бағытталған өнеркәсіптік секторды дамыту үшін оңтайлы жағдайларды жасау үшін ойлану және дәйекті қадамдар жасауы керек. Дамыған елдердің тәжірибесі көрсеткендей, индустрияны үйлесімді дамыту үшін энергия тиімділігінің көрсеткіштерін ескеру керек. Бүгінгі таңда Қазақстан экономиканың әртүрлі секторларында энергия тиімділігінің көрсеткіштерін басқарудың озық тәжірибесін тиімді іске асыру бойынша ауқымды міндеттерге ие.

Бұл бағыттағы соңғы орынға республиканың экономикасының даму ерекшеліктері мен жағдайларын есепке ала отырып дайын шешімдерді пайдалануға мүмкіндік беретін алдыңғы қатарлы халықаралық тәжірибе берілмейді.

Бүгінгі таңда Қазақстанның өнеркәсібінің энергетикалық қарқындылығы еуропалық елдерге қарағанда 4-5 есе жоғары. Әлемдік рейтингте Қазақстанның ЖІӨ-нің энергетикалық қарқындылығы индикаторы 1,9, ал Жапония көрсеткіші 0,1, ал Германия 0,16 құрайды. Бұл бағытта энергия тиімділігін басқару саласында оң тәжірибесі бар дамыған елдердің тәжірибесі өте қызықты.

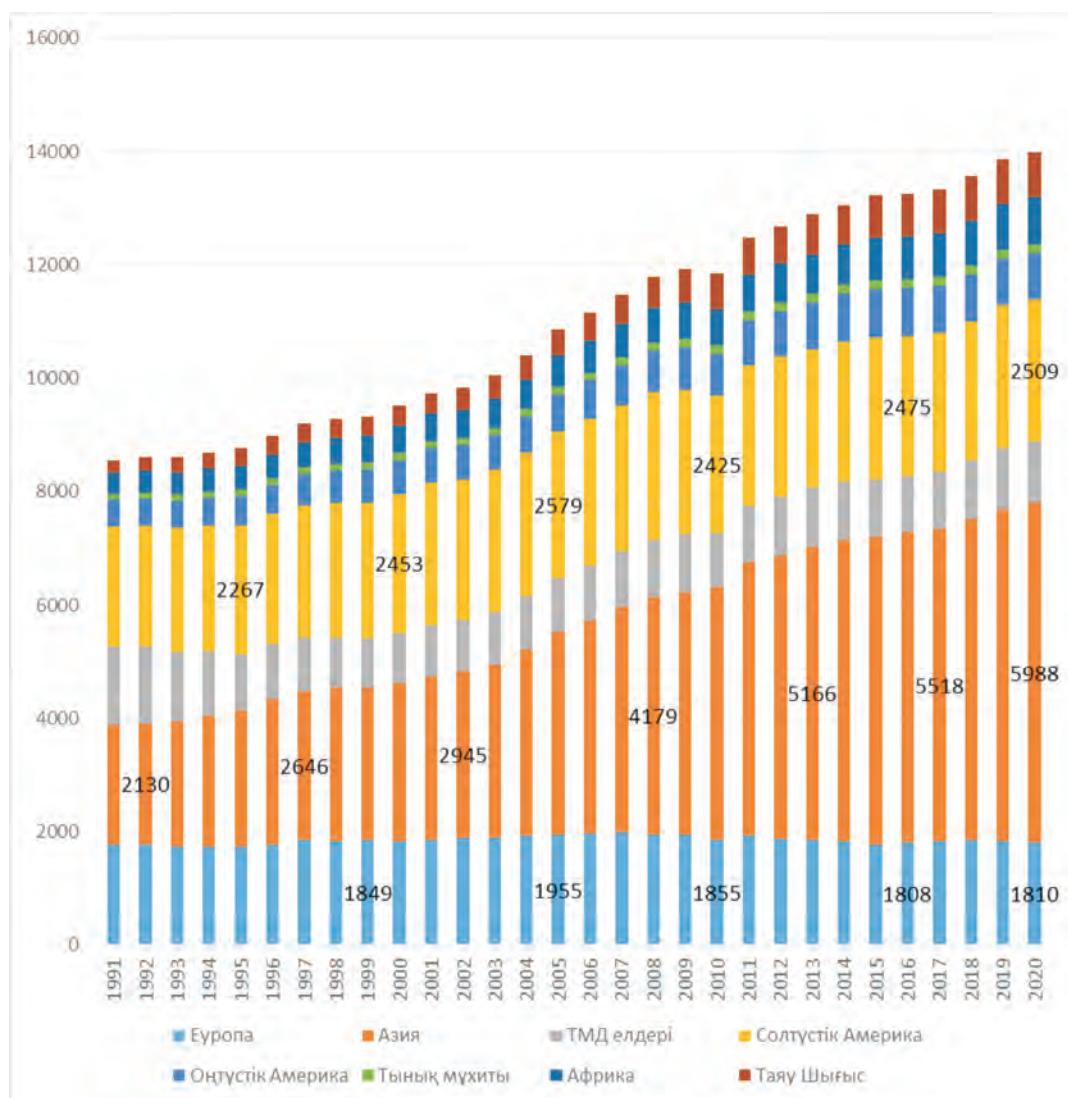
Қазақстанның ЖІӨ энергия сыйымдылығын 2020 жылға қарай 40%-ке төмендету үшін энергия үнемдеудің кешенді жоспары әзірленіп, қабылданғаны белгілі. Бұл жоспарды іске асыру осы саладағы оң өзгерістерді алуға және өнеркәсіптегі энергияны тиімді пайдалану арқылы қаржы ресурстарының түрінде қосымша артықшылықтар мен жеңілдіктер алуға мүмкіндік береді. Әлеуеті барлық бастапқы энергия көздерінің өндіріс көлемінің артуымен салыстырылады және энергия сұранысының 20-30% төмендеуімен бағаланады [3].

Экономиканың нақты секторын, оның ішінде индустрияны дамытудың қазіргі кезеңінде Қазақстанның отын-энергетикалық кешені (ОЭК) мемлекеттік саясаттың басым бағыттарының бірі болып табылады, еліміздің экономикалық көрсеткіштерінің тұрақты өсуін қамтамасыз ететін жетекші рөл атқарады.

Энергетикалық сектордың сенімді және тиімді жұмыс істеуі, электр және жылу энергиясымен тұтынушыларды тұрақты жеткізу мемлекеттік экономика мен тұрғындардың өркениетті өмір сүру жағдайларын қамтамасыз етуде маңызды фактор болып табылады. Энергия дамуының жалпы стратегиясы еліміздің энергетикалық тәуелсіздігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етуге, одан әрі тұрақты экономикалық өсу үшін сенімді энергетикалық базаны құруға бағытталған [4].

Қазақстанның экономикалық өсуінің локомотиві - баланстық динамикасы көмір өнеркәсібі, мұнай-газ секторы және электр энергетикасы секілді жаңартылмайтын негізгі ресурстарды қамтитын отын-энергетикалық кешен.

1-нші суретті көріп отырғанымыздай, жаңартылған энергияны қолдану өз кезегінде 2000-шы жылдардың аяғынан бері жаңартылатын энергия көздерінің (гидроэнергияны қосқанда) үлесі 2017 жылы шамамен 1 пайыздық тармаққа өсіп, 25 пайызға жетті.



1 Сурет – 1991-2020 жылдар аралығында жаңартылған энергия көздерінің энергияны тұтыну тенденциясы
Ескерту. <https://yearbook.enerdata.ru> [5] әдебиет көзіне сүйене отырып авторлармен құрастырылған.

2019 жылы экономикалық өсудің баяулауы аясында әлемдегі энергия тұтынудың өсуі (+ 0,6%) 2000–2018 жылдардағы орташа + 2% динамикамен салыстырғанда баяулады. 2009 жылдан бері әлемдегі ең ірі тұтынушы болып табылатын Қытайда (+ 3,2%),

Ресейде (+ 1,8%) және Үндістанда (жалпы алғанда + 0,8%) энергияны тұтыну баяу өсті. Ол ЭЫДҰ-ның барлық елдерінде, соның ішінде АҚШ-та (-1%), ЕО-да (-1,9%), Жапонияда (-1,6%), Канада мен Оңтүстік Кореяда төмендеді. Жалғыз ерекшелік Австралияда болды, ол 6,3% -ға өсті (сұйылтылған газ зауыттарының газды тұтынуының күрт өсуіне байланысты), ол тарихи орташа деңгейден әлдеқайда жоғары болды. Индонезия мен Алжирде тұтыну өсті, Сауд Арабиясында, Нигерияда және Оңтүстік Африкада өсе берді, бірақ Латын Америкасында төмендеді (Бразилияда өзгеріссіз, Мексикада аздап төмендеді). АҚШ санкциялары Венесуэла мен Ирандағы тұтынуды қысқартуға әсер етті. Америка Құрама Штаттары мен Қытай 2019 жылы шикізат пен көмір өндірісінің айтарлықтай өсуімен әлемдік энергия өндірісінің өсуінің негізгі драйверлері болды.

2019 жылы энергия өндірісінің негізгі өзгерістері:

– Шикі мұнай: Таяу Шығыстағы өндірістің төмендеуіне байланысты - 0,7% (орташа + 1,2%/жыл 2000-2018);

– Газ: + 4% АҚШ, Ресей және Австралиядағы өндіріс көлемінің өсуіне байланысты (орташа + 2,5% / 2000-2018 ж.ж.);

– Көмір: Қытайдағы өсімнің 0% -ы (+ 4%) Үндістанда, АҚШ-та және ЕО-да құлдыраудың есебінен өтейді (2000-2018. Орташа + 3%);

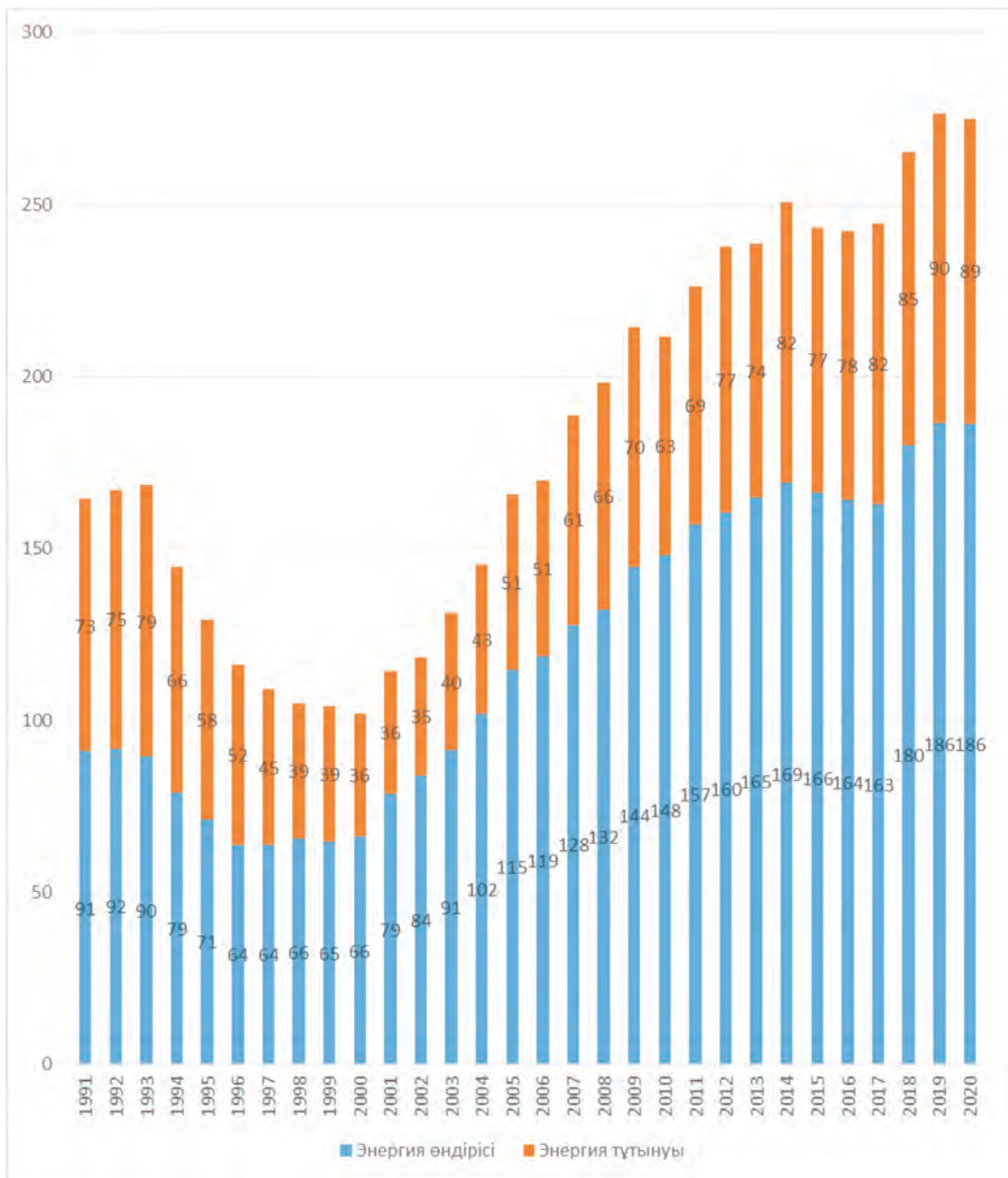
– Электр энергиясы: + 1% Қытайға байланысты, Еуропада, АҚШ пен Жапонияда құлдырау (орташа + 3,1% / 2000-2018 жж).

Энергия өндірісі Ресей мен Австралияда (СТГ өндірісінің жаңа қуаттылығы іске қосылды), Бразилияда (мұнай өндірісінің артуы), Оңтүстік Африкада (көмір өндірісінің артуы) және Түркияда (гидроэнергетика өндірісінің күрт өсуі) өсті.

Екінші жағынан, Еуропада энергия өндірісінің құлдырауы жалғасты (бұл әсіресе Германия мен Польшадағы көмір өндірісіне, сондай-ақ мұнай-газ ресурстары азайып жатқан Норвегия мен Нидерландыдағы шикі мұнайға қатысты). Таяу Шығыста АҚШ-тың санкцияларына байланысты Иранда энергия өндірісі шамамен 15% -ға төмендеді, ал Сауд Арабиясы ОПЕК + келісімінің шарттарын орындай отырып, шикі мұнай өндірісін азайтты.

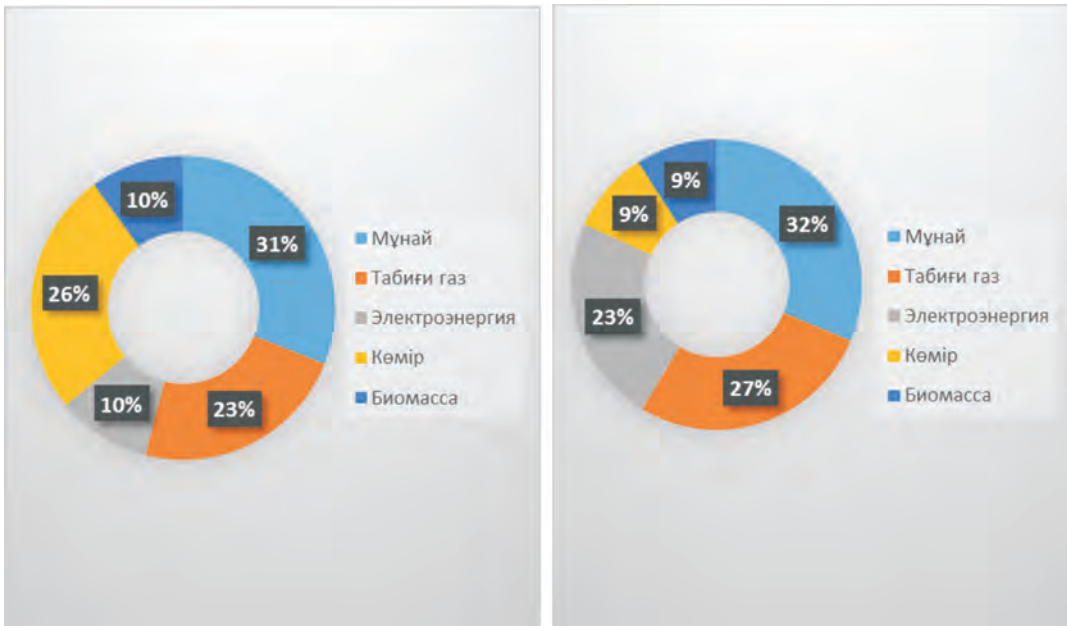
Еуропалық одақта жаңартылатын энергия көздерінің үлесі 2017 жылы тұрақты болып қалды, өйткені Германия мен Ұлыбританиядағы жаңартылатын энергия өндірісінің айтарлықтай өсуі Оңтүстік Еуропада (Франция, Италия, Испания) қолайсыз гидравликалық жағдаймен өтелді. Қазақстандағы көмірдің қуаты - 91%, көне желінің қуаты - 9%. Қазақстанда жаңартылмаған энергия көздері – 91%, жаңартылған энергия көздері – 9% құрады.

2009 жылдан бері әлемдегі ең ірі энергия тұтынушысы Қытайдың жаһандық энергия тұтынуының арқасында тұрақты экономикалық өсімге қол жеткізілді. Қытайда энергияны тұтыну көлемі 2016 жылы екі есе артты, бұл өз кезегінде төмен тұтынудың үш жылдық өтелуіне, индустриядағы энергия тиімділігін арттыруға және экономиканың декарбонизациясына арналған ұлттық стратегияларға негізделген индустриялық сұраныстың күшеюіне байланысты болды. Көптеген Азия елдерінде энергия тұтыну көлемі өсті: Үндістанда (2000 жылдан бері тұрақты өсу), Индонезия, Малайзия немесе Оңтүстік Корея.



2 Сурет – 1991-2020 жылдар арасында энергияны өндірісі мен тұтыну тенденциясы
Ескерту. <https://yearbook.enerdata.ru> [5] әдебиет көзіне сүйене отырып авторлармен құрастырылған.

Экономикалық өсу Еуропадағы (Германия, Франция, Италия және Түркияны қоса алғанда, Ұлыбританиядағы экономикалық құлдырауды қоса алғанда), Канада мен Ресейде (екі жылдық құлдыраудың соңында) энергияны тұтынудың өсуіне әкелді.



3 Сурет – Қазақстанда энергияны тұтыну тенденциясының үлесі, Электроэнергияны өндіру, 2020ж.

Ескерту: <https://yearbook.enerdata.ru> [5] әдебиет негізінде автор құрастырған.

2019 жылы экономикалық өсудің баяулауы аясында әлемдегі энергия тұтынудың өсуі (+0,6%) 2000–2018 жылдардағы орташа +2% динамикамен салыстырғанда баяулады.

2009 жылдан бері әлемдегі ең ірі тұтынушы болып табылатын Қытайда (+3,2%), Ресейде (+1,8%) және Үндістанда (жалпы алғанда +0,8%) энергияны тұтыну баяу өсті. Ол ЭЫДҰ-ның барлық елдерінде, соның ішінде АҚШ-та (-1%), ЕО-да (-1,9%), Жапонияда (-1,6%), Канада мен Оңтүстік Кореяда төмендеді. Жалғыз ерекшелік Австралияда болды, ол 6,3%-ға өсті (сұйылтылған газ зауыттарының газды тұтынуының күрт өсуіне байланысты), ол тарихи орташа деңгейден әлдеқайда жоғары болды. Индонезия мен Алжирде тұтыну өсті, Сауд Арабиясында, Нигерияда және Оңтүстік Африкада өсе берді, бірақ Латын Америкасында төмендеді (Бразилияда өзгеріссіз, Мексикада аздап төмендеді). АҚШ санкциялары Венесуэла мен Ирандағы тұтынуды қысқартуға әсер етті [7].

Экологиялық заңнаманың жетілдірілмеуі, Қазақстан индустриясының осы секторында жұмыс істейтін науқандардың экологиялық аспектілерін мемлекеттік реттеу құралдары мен механизмдері Қазақстанның экожүйесіне жоғары техногендік қысым жасайды.

Климаттың өзгеруіне байланысты экологияның өткір мәселелері бойынша жаһандық энергетикалық проблеманы шешу үшін парниктік газдар шығарындыларын азайту қажеттілігі және әлемдегі жаңартылмайтын отын-энергетикалық ресурстардың резервтерінің өсу қарқынының азаюы жаңартылатын энергия көздерін пайдалануға үлкен көңіл бөлінді.

Қазақстан 2009 жылы «Жаңартылатын энергия көздерін пайдалануды қолдау туралы» Заң қабылдады, ол жаңартылатын энергия көздерін қолдауға бағытталған мынадай шараларды қарастырады:

- жаңартылатын энергия көздерін салуға жерді беруді резервке қою және басымдықты ету;
- жаңартылатын энергия көздері өндіретін электр энергиясын сатып алу бойынша трансфер-компанияларды міндеттейді;
- жаңартылатын энергия көздерін желілер арқылы электр энергиясын тасымалдау үшін төлемнен босату;
- трансформаторлық компаниялар желілеріне жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын объектілерді қосуға көмектесу;
- жаңартылатын энергия көздерін пайдалану үшін объектілерді жобалау, салу және пайдалану жөніндегі қызметті жүзеге асыратын жеке тұлғаларды және заңды тұлғаларды Қазақстан Республикасының заңнамасына сәйкес инвестициялық заңнамаға сәйкес инвестициялық преференциялар беру [8].

Бұл жобаларды іске асыру инвесторлардың меншікті және қарыз қаражаты есебінен күтіледі. Жаңартылатын энергия көздерін пайдалану саласындағы уәкілетті орган ретінде Министрлік жаңартылатын энергия көздерін пайдалануды қолдау бойынша шаралар қабылдап, жаңартылатын энергия көздерін энергия теңгерімінде тарту үшін қажетті жағдайларды жасау бойынша жұмыстар жүргізіп жатыр.

Қазақстанда ең жаңартылатын энергия көздерінің мынадай түрлері бар: жел энергиясы; шағын ГЭС; жылу мен электр энергиясын өндіруге арналған күн қондырғылары. Қазіргі уақытта қажетті қуаттарды кеңейту, қолданыстағы жаңғырту және жаңа энергия нысандарын салу, сондай-ақ экспортты құру, қажетті энергетикалық қорлардың транзиттік әлеуеті маңызды мемлекеттік міндет болып табылады.

Қазақстанның отын-энергетикалық кешенінің технологиялық деңгейі мен техникалық жағдайын қамтитын кәсіпорындардың негізгі активтері олардың бәсекеге қабілеттілігін айқындайды.

Қорытынды. Отандық энергетикалық секторды орнықты дамытудың басты жолы - энергетика жүйесінің дамуы мен жұмыс істеуінің тиімділігін арттыратын саланың үздіксіз инновациялық дамуы жағдайында энергетиканың жұмыс істеуін жақсарту. Тұтынушыларға электрмен жабдықтаудың сапасы мен сенімділігін арттыратын, заманауи ресурс үнемдейтін технологиялар мен жабдықтардың негізінде индустрияны жаңғырту, қолданыстағы және әлеуетті бәсекелестік артықшылықтарды барынша пайдалану арқылы бәсекеге қабілеттілік деңгейін жоғарылататын жоғары технологиялық технологияларды қолданатын инновациялық өндірістерді енгізу.

Негізгі ғылыми, жаңа тиімді, сенімді материалдарды, жабдықтар мен технологияларды жетілдіру, жабдықтарды, энергетикалық қондырғыларды, бақылау жүйелерін терең және жан-жақты диагностикалау, аудит және мониторингі мемлекеттің қатысуын және электр энергетикасын дамытудың басым бағыттары бойынша мақсатты ғылыми-өндірістік бағдарламалар мен жобаларға елеулі инвестицияларды талап етеді.

Қазіргі кезеңде ақпараттық технологиялар мен инновациялық экономиканы дамыту арқылы энергетикалық сектордағы сенімділікті арттырудың дәстүрлі қағидаттары мен құралдарымен бірге технологиялық жабдықтарды, объектілерді, электр

энергетикалық жүйелерді интеллектуализациялау және оларды басқару перспективалы болып келеді. Шетелде Smart Grids деп аталатын жаңа басқару тұжырымдамасын енгізу - кез-келген желіде электр энергиясын өндірудің сенімді, қауіпсіз және үнемді режимін енгізуге қабілетті пайда болатын «интеллектуалды» энергетикалық жүйенің логикалық эволюциялық-технологиялық дамуы, оның жұмыс істеуінің сыртқы және ішкі жағдайларын өзгертуі болып табылады.

Шетелдік және отандық инвестицияларды тарту жаңа жоғары технологиялық өндірісті құруға және енгізуге, негізгі құралдарды жаңғыртуға және энергетикалық компанияларды техникалық қайта жарактандыруға, жаңартылатын энергия көздерін дамытуға және тиісті технологиялық жабдықтарды өндіруге жағдай жасайды.

Сонымен қатар, инвестициялардың дамуы білікті кадрлардың әлеуетін барынша тиімді пайдалануға, менеджмент және маркетинг саласындағы озық жетістіктерге қол жеткізуге, отандық нарықтың жоғары сапалы отандық өніммен қамтамасыз етілуіне, «артық» энергия ресурстарын экспорттауды арттыруға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Байков Н., Безмельница Г., Гринкевич Р. Перспективы развития мировой энергетики до 2030г. // Мировая экономика и международные экономические отношения. – 2007. – № 5. – С. 19-30.
- 2 Methodology Description for the Policy Analysis Modeling System (PAMS). Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP). Washington, DC, 2011. 145 p.
- 3 Хабибрахманов Р.Р., Рыжкова Л.В. Факторы, определяющие энергоёмкость отечественной экономики // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2012. – №12. – С. 43-67.
- 4 Упушев Е. М., Болатбек Б. Б. Развитие возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан в XXI веке // ҚазЭУ хабаршысы / Вестник КазЭУ. – 2012. – № 65 (89). – С. 38-44.
- 5 Статистика Ежегодник мировой энергетики 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>.
- 6 Официальная статистическая информация МНЭ РК Комитета по Статистике. http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/publicationsPage?_afzLoop=9597894732358671#%40%3F_afzLoop%3D9597894732358671%26_adf.ctrl-state%3D11mv9n96pr_70. [Официальная статистическая информация МНЭ РК Комитета по Статистике. http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/publicationsPage?_afzLoop=9597894732358671#%40%3F_afzLoop%3D9597894732358671%26_adf.ctrl-state%3D11mv9n96pr_70]
- 7 Shirley, Rebekah, Kammen, Daniel. Renewable Energy Sector Development in the Caribbean: Current Trends and Lessons from History // Energy. 2013. Vol. 57. pp. 244-252. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.01.049
- 8 Концепция перехода республики Казахстан к устойчивому развитию на 2007-2024 годы [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zakon.kz/172597-ukaz-prezidenta-respubliki-kazakhstan.html>. [Концепция перехода республики Казахстан к устойчивому развитию на 2007-2024 годы [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zakon.kz/172597-ukaz-prezidenta-respubliki-kazakhstan.html>]

REFERENCES

- 1 [Bajkov N., Bezmel'nicyna G., Grinkevich R. Perspektivy razvitiya mirovoj energetiki do 2030g. // Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye ekonomicheskie otnosheniya. – 2007. – № 5. – S. 19-30.
- 2 Methodology Description for the Policy Analysis Modeling System (PAMS). Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP). Washington, DC, 2011. 145 p.
- 3 Habibrahmanov R.R., Ryzhkova L.V. Faktory, opredelyayushchie energoemkost' otechestvennoj ekonomiki //Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal. – 2012. – №12. – S. 43-67.
- 4 Upushev E. M., Bolatbek B. B. Razvitie vozobnovlyaemyh istochnikov energii v Respublike Kazahstan v HKHI veke // KazEU habarshysy / Vestnik KazEU. – 2012. – № 65 (89). – S. 38-44.
- 5 Statistika Ezhegodnik mirovoj energetiki 2018. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>.
- 6 Oficial'naya statisticheskaya informaciya MNE RK Komiteta po Statistike. http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/publicationsPage?_afLoop=9597894732358671#%40%3F_afLoop%3D9597894732358671%26_adf.ctrl-state%3D11mv9n96pr_70
- 7 Shirley, Rebekah, Kammen, Daniel. Renewable Energy Sector Development in the Caribbean: Current Trends and Lessons from History // Energy – 2013. – Vol. 57. – pp. 244-252. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.01.049
- 8 Konceptsiya perekhoda respubliky Kazahstan k ustojchivomu razvitiyu na 2007-2024 gody [Elektron. resurs].– Rezhim dostupa: <http://www.zakon.kz/172597-ukaz-prezidenta-respubliki-kazahstan.html>

Б. Ж. УТЕЕВ¹, С. С. АБИШОВА², А. М. ТЛЕППАЕВ³

^{1,2} Университет международного бизнеса, Алматы, Казахстан

³Казахстанско-Немецкий университет, Алматы, Казахстан

e-mail: bakytnur2013@mail.ru¹, salta_1990s@mail.ru¹, arsentlp@gmail.com³

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

В данной статье рассмотрены методы сравнительного анализа, систематизации информации, экспертной оценки, теоретико-методологический подход, основанный на методологии high-low. Дан анализ состояния энергетического сектора Казахстана, анализ развития топливно-энергетического сектора и обеспечение устойчивого развития энергетического сектора Казахстана. Для обеспечения долгосрочной стабильности всех типов национальных экономик нам необходима долгосрочная государственная энергетическая политика, которая предусматривает наиболее эффективное использование природных энергоресурсов в соответствии с экономической ситуацией и целями и имеет потенциал энергетического сектора. Энергетический сектор, основанный на единой экономике, играет важную роль в политической, экономической и социальной сферах любого государства. Надежное и эффективное функционирование энергетической отрасли, стабильное снабжение потребителей электроэнергией и теплом – важный фактор обеспечения государственной экономики и цивилизованных условий жизни населения.

Ключевые слова: энергетика, топливно-энергетический комплекс (ТЭК), невозобновляемые источники энергии; энергетический потенциал, энергоэффективность.

B. ZH. UTEYEV¹, S. S. ABISHOVA², A. M. TLEPPAEV³

^{1,2} *University of International Business, Almaty, Kazakhstan*

³ *Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan*

e-mail: bakytur2013@mail.ru¹, salta_1990s@mail.ru¹, arsentlp@gmail.com³

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STATE OF ENERGY DEVELOPMENT

Analysis of the state of the energy sector of Kazakhstan, analysis of the development of the fuel and energy sector and ensuring sustainable development of the energy sector of Kazakhstan. This article considers the methods of comparative analysis, systematization of information, expert assessment, theoretical and methodological approach, based on the methodology of high-low. To ensure long-term stability of all types of national economies, we need a long-term state energy policy that provides for the most efficient use of natural energy resources and other natural energy resources. The energy sector, based on a single economy, plays an important role in the political, economic and social spheres of any state. Reliable and effective functioning of the energy sector, stable supply of electricity and heat to consumers is an important factor in ensuring the state economy and civilized living conditions of the population.

Keywords: *energy, fuel and energy complex, non-renewable energy sources; energy potential, energy efficiency.*

УДК 332.54. 06

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.112>

**Д. К. МОЛЖИГИТОВА*, Г. КАМЕЛХАН, С. Р. ТУРГАНАЛИЕВ,
А. Д. ОМАРБЕКОВА, М. А. БАЛКОЖА**

Казахский национальный исследовательский аграрный университет

СИСТЕМА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Система эколого-экономической оценки сельскохозяйственных земель основывается на принципе альтернативной стоимости, что с точки зрения устойчивого развития является оправданной и необходимой позицией. В настоящее время существует более десяти методов стоимостной оценки земель в рамках трех подходов, принятых в международной практике: сравнительном, затратном и доходном. Базовой основой экономических методов управления земельными ресурсами является кадастровая стоимость, которая определяется в ходе государственной кадастровой оценки сельскохозяйственных угодий путем капитализации расчетного рентного дохода.

Ключевые слова: *система, эколого-экономическая оценка, сельскохозяйственные земли, развитие, принцип, альтернативная стоимость.*

В Казахстане, так же как и в других странах, исследования по разработке методов эколого-экономической оценки земельных ресурсов проводятся на протяжении более двадцати лет, и в настоящее время существует более десяти методов стоимостной оценки земель в рамках трех подходов, принятых в международной практике: сравнительном, затратном и доходном [1]. Базовой основой экономических методов управления земельными ресурсами является кадастровая стоимость, которая определяется в ходе государственной кадастровой оценки сельскохозяйственных угодий путем капитализации расчетного рентного дохода. В зависимости от воздействия разных типов экологических факторов в Казахстане существуют различные методики оценки ущерба.

Целью работы явилось формирование на существующей теоретико-методической базе системы эколого-экономической оценки сельскохозяйственных земель с применением автоматизированных систем, которую предложено понимать как совокупность показателей, принципов и методов, позволяющих осуществлять деятельность в области экономической оценки сельскохозяйственных земель с учетом их деградации в результате природного или антропогенного воздействия.

* E-mail корреспондирующего автора: dikosh.m@mail.ru

Результаты оценки могут быть использованы для создания системы экологического мониторинга земельных ресурсов, при разработке и реализации целевых программ мелиорации земель, программ по сохранению и восстановлению плодородия почв и агроландшафтов, при оценке воздействий в инвестиционных проектах землепользования и землеустройства. В основе системы эколого-экономической оценки содержится положения экономической теории стоимости сельскохозяйственных земель, методические подходы, позволяющие выделить экологические факторы в качестве самостоятельных критериев экономической оценки, и способы их стоимостного выражения [2].

Система эколого-экономической оценки сельскохозяйственных земель основывается на принципе альтернативной стоимости, что с точки зрения устойчивого развития является оправданной и необходимой позицией. В условиях ограниченности земельных ресурсов, неполной пригодности их для ведения сельского хозяйства, а также не- возобновляемом характере почвенных ресурсов, ценность земель с течением времени повышается, а их стоимость на земельном рынке возрастает. В случае деградации земель и ухудшении свойств почв происходит их обесценивание за счет снижения плодородия, и, как следствие, землепользователям приходится искать замену земельным участкам с целью получения лучших экономических результатов. Такой подход противоречит принципу рационального использования и охраны земельных ресурсов, на что ориентированы государственные земельные и аграрные программы. В данной связи оценку следует проводить не только по доходности, но и по упущенной выгоде, возникающей в результате развития процессов деградации на сельскохозяйственных землях. Тем самым результат оценки будет представлять собой альтернативную стоимость замены деградированных земель [1, 3]. Поэтому поиск научно обоснованных путей, позволяющих измерять экологические факторы в стоимостном выражении, является определяющей задачей при формировании системы эколого-экономической оценки сельскохозяйственных земель.

Процесс эколого-экономической оценки сельскохозяйственных земель строится на соблюдении принципа поэтапной упреждающей подготовки. Итог и успешность каждого из этапов оценки зависит от эффективного выполнения каждого из предыдущих этапов: сбора и анализа исходной информации, методического обеспечения, сравнительного анализа и согласования результатов. К каждой оцениваемой территории требуется дифференцированный подход в связи с различными природно-экономическими условиями, поэтому выбор показателей и методических подходов к выделению экологических факторов должен быть обоснован и строго индивидуален.

Система эколого-экономической оценки была реализована на сельскохозяйственных землях Восточно-Казахстанской области, для которого коэффициент экологической значимости территории равен 1,2. В качестве объекта оценки были выбраны земли пахотных и кормовых угодий, расположенных в Восточно-Казахстанской области. Территория исследования, также как другие районы лесостепи Катон-Карагайский, характеризуется высокой степенью сельскохозяйственной освоенности (80% от общей площади) и высокой активностью (прирост до 235 м/год) оврагообразования. Общая площадь оцениваемых земель составляет 3523 га, из которых около 2465 га приходится на пахотные земли и 826 га – на земли сенокосов. Основу пахотного фон-

да составляют подтипы черноземов, лугово-черноземных, черноземно-луговых почв. Основные площади сенокосов расположены на луговых почвах [1, 4].

При определении годового экономического эффекта от внедрения автоматизированной системы необходимо обеспечить сопоставимость традиционной и автоматизированной технологии разработки проектов по следующим параметрам:

- количество составляемых проектов;
- затраты времени на их составление;
- качественные параметры проектов;
- учет экологических и социальных факторов производства.

Итоговые данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средний размер ущерба с единицы земельной площади по данным эколого-экономической оценки сельскохозяйственных земель

Типы деградации	Средний размер ущерба,			по кадастровой стоимости тыс. тенге. / га
	Средневзвешенное значение ущерба, тыс. тенге./га	по нормативу стоимости	по доходности на единицу ПЭИ	
Увеличение площади эродированных земель	27,02	3,83	12,28	11,00
Уменьшение запасов гумуса в профиле почвы	26,16	2,54	7,78	8,84
Уменьшение мощности почвенного профиля	34,78	2,74	6,28	10,21
Потери почвенной массы	21,51	1,76	14,65	9,58
Площадь обнаженной почвообразующей породы или подстилающей породы	16,67	2,09	21,78	10,91
Глубина размывов и водорои относительно поверхности	20,58	3,11	13,40	9,69
Расчлененность территории оврагами	34,03	27,40	63,38	39,52

При этом обоснование весовых коэффициентов было связано с существенным значением экологических факторов и условий землепользования для целей оценки [5]:

– в нормативном методе используется общерегиональный норматив стоимости освоения новых земель IX оценочной зоны всей территории Восточного Казахстана оценка проводится поконтурно, так как нормативы утверждены законодательно для разных подтипов почв в соответствии с их пригодностью для ведения сельского хозяйства; подробный учет экологических условий местоположения земельного участка данным методом не предполагает; присвоенный весовой коэффициент – 0,2;

– в методе оценки по доходности на единицу ПЭИ учитываются экологические факторы, наиболее значимые для сельскохозяйственного производства: климатические характеристики исследуемой территории и условия местоположения, особенности почвообразования и обеспеченность питательными элементами; оценка проводится поконтурно, где все показатели определяются индивидуально для каждого почвенного контура; присвоенный весовой коэффициент – 0,5;

– в методе капитализации земельной ренты используются показатели, характеризующие качественные характеристики почв (физико-химические свойства почв и уровень плодородия земель) и условия местоположения (расстояние до рынков сбыта, классность дорог и стоимость перевозок), которые с точки зрения оценки экологических факторов не являются существенными; присвоенный весовой коэффициент – 0,3.

ЛИТЕРАТУРА

1 Лысенко Е.Г. Эколого-экономическая эффективность использования земли: (Теория, методол., практика) / Е. Г. Лысенко. – Ростов на Дону: Полиграф, 1994. – 199 с.

2 Югай А.М. Методические положения рационального использования сельскохозяйственных земель с учетом агроэкологических, экономических и ресурсных ограничений в регионах [Текст] / А.М. Югай, А.В. Колесников, М.П. Тушканов и др. – М. Издательство ООО «НИПКЦ Восход-А», 2009. – 204 с.

3 Комплексный подход к планированию и рациональному использованию земельных ресурсов. Глава 10. [Электронный ресурс] // Повестка дня на XXI век / Конференция ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992.

4 A framework for land evaluation [Электронный ресурс] : FAO Soils bulletin 32 / Soil resources development and conservation service land and water development division. FAO UN. – Rome, 1976.

5 G.S. Rodrigues, I. A. Rodrigues, C. C. de Almeida Buschinelli, I. de Barros // Environmental Impact Assessment Review, 2010. – P. 229–239.

REFERENCES

1 Lysenko E.G. Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya zemli: (Teoriya, metodol., praktika) / E. G. Lysenko. – Rostov na Donu: Poligraf, 1994. – 199 s.

2 YUgaj A.M. Metodicheskie polozheniya racional'nogo ispol'zovaniya sel'skohozyajstvennyh zemel' s uchetom agroekologicheskikh, ekonomicheskikh i resursnyh ogranichenij v regionah [Tekst] / A.M. YUgaj, A.V. Kolesnikov, M.P. Tushkanov i dr. – M. Izdatel'stvo ООО «NIPKC Voskhod-A», 2009. – 204 s.

3 Kompleksnyj podhod k planirovaniyu i racional'nomu ispol'zovaniyu zemel'nyh resursov. Glava 10. [Elektronnyj resurs] // Povestka dnya na XXI vek / Konferenciya OON po okruzhayushchej srede i razvitiyu, Rio-de-ZHanejro, 1992.

4 A framework for land evaluation [Электронный ресурс] : FAO Soils bulletin 32 / Soil resources development and conservation service land and water development division. FAO UN. – Rome, 1976.

5 G.S. Rodrigues, I. A. Rodrigues, C. C. de Almeida Buschinelli, I. de Barros // Environmental Impact Assessment Review, 2010. – P. 229–239.

**Д. К. МОЛЖІГІТОВА, Г. КАМЕЛХАН, С. Р. ТҰРҒАНАЛИЕВ,
А. Д. ОМАРБЕКОВА, М. А. БАЛҚОЖА**

Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті

АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖЕРЛЕРІН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ-ЭКОНОМИКАЛЫҚ БАҒАЛАУ ЖҮЙЕСІ

Ауылшаруашылық жерлерін экологиялық-экономикалық бағалау жүйесі тұрақты даму тұрғысынан негізделген және қажетті позиция болып табылатын баламалы шығындар принципін негізделген. Қазіргі кезде халықаралық тәжірибеде қабылданған үш тәсіл шеңберінде жерді бағалаудың оннан астам әдісі бар: салыстырмалы, қымбат және тиімді. Жерге орналастырудың экономикалық әдістерінің базалық негізі кадастрлық құн болып табылады, ол ауылшаруашылық жерлерін мемлекеттік кадастрлық бағалау барысында жалдаудың есептік кірісін капиталдандыру арқылы анықталады.

***Түйін сөздер:** жүйе, экология-экономикалық бағалау, ауылшаруашылық жерлері, даму, принциптер, салыстырмалы баға.*

**D. K. MOLZHIGITOVA, G. KAMELKHAN,
S. R. TURGANALIEV, A. D. OMARBKOV, M. A. BALKOZHA**

Kazakh National Research Agrarian University

THE SYSTEM OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF AGRICULTURAL LAND

The system of ecological and economic assessment of agricultural land is based on the principle of alternative cost, which from the point of view of sustainable development is a justified and necessary position. Currently, there are more than ten methods of land valuation within the framework of three approaches adopted in international practice: comparative, costly and profitable. The basic basis for economic methods of land management is the cadastral value, which is determined in the course of the state cadastral valuation of agricultural land by capitalizing the estimated rental income.

***Keywords:** system, ecological and economic assessment, agricultural land, development, principle, opportunity cost.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Абишова С. С. – Университет международного бизнеса, Алматы, Казахстан
2. Агадаева Д. С. – PhD докторант, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
3. Ақатан Қ. – Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
4. Андрашко Ю. В. – PhD, ассоциированный профессор, Ужгородский национальный университет, Ужгород, Российская Федерация
5. Алимбекова Н. Б. – Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан
6. Алдияров Ж. – Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, к.т.н., доцент кафедры «Промышленное, гражданское и дорожное строительство»
7. Аршабекова А. М. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
8. Ахметов С. М. – доктор технических наук, профессор ВАК, академик НИА РК, индустриальный руководитель Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, руководитель Казахстанского отделения по г. Нур-Султан Международной научной школы устойчивого развития им. акад. П.Г. Кузнецова
9. Ахметов Н. М. – доктор технических наук, доцент ВАК, декан Нефтегазового факультета Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, Казахстан
10. Бакибаев Т. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматинский Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан
11. Балкожа М. А. – магистр, Казахский национальный исследовательский аграрный университет, Алматы, Казахстан

12. Белощицкий А. А. – д.т.н., проректор по науке и инновациям, Astana IT University, Нур-Султан, Казахстан
13. Болшибаева А. К. – магистр техники и технологий, сениор-лектор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
14. Дюсембинов Д. С. – к.т.н., доцент, кафедра «Технология промышленного и гражданского», ЕНУ имени Л.Н Гумилева, Мунайтпасова 13, Нур-Султан, Казахстан
15. Едилхан Д. – PhD, ассоциированный профессор, Astana IT University, Нур-Султан, Казахстан
16. Ербаев Е. Т. – к.т.н. РФ, доктор PhD, старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
17. Гизатулина А. Ш. – MBA, менеджер по организационному развитию, ТОО «Проектная Академия KAZGOR», Алматы, Казахстан
18. Голамреза Рухи – факультет биомедицинской инженерии, Технологический университет Амиркабира, Тегеран, Иран
19. Жакебаев Д. Б. – профессор, PhD доктор, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
20. Жалғасов А. – Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова магистрант кафедры «Промышленное, гражданское и дорожное строительство»
21. Жаңабай Н. – Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, к.т.н., доцент кафедры «Промышленное, гражданское и дорожное строительство»
22. Жолдас Н. А. – докторант, кафедра «ИИ и Big Data», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахста
23. Зайдемова Ж. К. – кандидат технических наук, доцент Нефтегазового факультета Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан
24. Ибраева Ж. Е. – Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

-
25. Икласова Ж. У. – кандидат технических наук, доцент Нефтегазового факультета Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, Казахстан
26. Иксанов С. Ш. – докторант, кафедра «ИИ и Big Data», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
27. Имашева А. А. – Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
28. Қабдрахманова С. Қ. – ВосточноКазахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
29. Қайырбеков Н. – Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
30. Калдыбаева Б. М. – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ» г. Харьков, Украина
31. Камелхан Г. – асс. профессор, доктор PhD, асс. профессор, Казахский национальный исследовательский аграрный университет, Алматы, Казахстан
32. Каруна О. Л. – и.о. доцента, PhD доктор, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
33. Куандыков А. А. – доктор технических наук, профессор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
34. Қуанышбеков Т. – Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
35. Кульжанова А. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматинский Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан
36. Кучанский А. Ю. – д.т.н., ассоциированный профессор, Киевский национальный университет им. Т.Шевченко, Киев, Украина
37. Лукпанов Р. Е. – PhD, асс.профессор, директор НПЦ «ЕНУ-лаб», ЕНУ имени Л.Н Гумилева, Мунайтпасова 13, Нур-Султан, Казахстан
38. Мансурова М. Е. – к.ф.-м.н., доцент, кафедра «ИИ и Big Data», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

39. Молжигитова Д. К. – асс. профессор, доктор PhD, асс. профессор Казахский национальный исследовательский аграрный университет, Алматы, Казахстан
40. Муханбетжанова Қ. Т. – магистр, преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
41. Турешова А. Е. – магистр, преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
42. Омарбекова А. Д. – асс. профессор, доктор PhD, асс. профессор, Казахский национальный исследовательский аграрный университет, Алматы, Казахстан
43. Октавиан Адриан Постолаче – профессор, факультет информационных наук и технологий, ISCTE – Университетский института Лиссабона, Лиссабон
44. Прохоров А. В. – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ» г. Харьков, Украина
45. Прохоров В. П. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина
46. Рахимова Д. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматинский Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан
47. Сарсамбаева Т. С. – докторант, кафедра «ИИ и Big Data», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
48. Сатыбаева Н. А. – старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
49. Татыгулов А. А. – MBA, Президент, ТОО «Проектная Академия KAZGOR», Алматы, Казахстан
50. Тевяшев А. Д. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина
51. Глеппаев А. М. – Казахстанско-Немецкий университет, Алматы, Казахстан
52. Токсанов С. Н. – докторант, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

-
53. Турганалиев С.Р. – асс. профессор, доктор PhD, асс. профессор, Казахский национальный исследовательский аграрный университет, Алматы, Казахстан
54. Турешова А. Е. – магистр, преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
55. Туралина Д. Е. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
56. Усербаев М. Т. – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина
57. Ускенбаева Р. К. – доктор технических наук, профессор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
58. Утеев Б. Ж. – Университет международного бизнеса, Алматы, Казахстан
59. Файзуллин А. Р. – докторант, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан
60. Хусанов Ж. Е. – Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан
61. Хусанов А. Е. – Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Жумагулов Б.</i> Академик Надиров – гордость науки	5
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА	
<i>Алимбекова Н. Б.</i> Численная реализация нелинейной модели фильтрации в сильно трещиноватой среде методом конечных элементов	8
<i>Жакебаев Д.Б., Агадаева Д.С., Каруна О.Л.</i> Метод LB для моделирования трехкомпонентного потока жидкости	18
<i>Белоцицкий А. А., Кучанский А. Ю., Андрашко Ю.В., Едилхан Д., Токсанов С. Н., Файзуллин А.Р.</i> Модели селективного и гибридного типов прогнозирования временных рядов уровня загрязнения воздуха в SMART SYSTEM	29
<i>Хусанов Ж.Е., Тевяшев А.Д., Прохоров А.В., Хусанов А.Е., Прохоров В.П., Калдыбаева Б.М.</i> Математические методы и модели оперативного планирования режимов функционирования систем электрохимической защиты подземных трубопроводов	40
ИНЖЕНЕРНАЯ МЕХАНИКА	
<i>Ахметов С.М., Усербаев М.Т., Ахметов Н.М., Икласова Ж.У., Зайдемова Ж.К.</i> Автоматизация оптимального проектирования трансмиссии буровых установок	53
<i>Алдияров Ж.А., Жанабай Н.Ж., Жалгасов А.Ж.</i> Результаты экспериментальных исследований конструкции наружного ограждения с теплоаккумулирующим слоем	61
<i>Голамреза Рухи.</i> Непрерывная механика: применение в моделях ремоделирования и резорпции кости	70
<i>Туралина Д.Е., Аршабекова А.М.</i> Исследование водоворотной Мини ГЭС с помощью модуля CFD в среде COMSOL Multiphysics	79
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
<i>Кульжанова А., Рахимова Д., Бакибаев Т.</i> Проблемы процесса блочного шифрования данных и его применение для повышения безопасности данных	90
<i>Мансурова М.Е., Постолаче О.А., Жолдас Н.А., Сарсамбаева Т.С., Иксанов С.Ш.</i> Система мониторинга юных пациентов с сахарным диабетом	99
<i>Татыгулов А.А., Гизатулина А.Ш.</i> ВМ-образование в Казахстане: вопросы, связанные с организацией качественной и комплексной подготовки специалистов строительной отрасли в высших учебных заведениях РК	106

<i>Ускенбаева Р.К., Қуандықов А.А., Болишбаева А.К.</i> Обеспечение наблюдаемости и управляемости бизнес-процессов в действующей системе логистики в Казахстане	117
---	-----

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Ақатан Қ., Қабдрахманова С.Қ., Имашева А.А., Қуанышбеков Т., Ибраева Ж.Е., Қайырбеков Н.</i> Бір жылдық өсімдіктестес шикізаттан алынған целлюлозаның құрылымдық ерекшелігіне механикалық активтеудің әсерін зерттеу	126
---	-----

<i>Луқпанов Р.Е., Дюсембинов Д.С.</i> Оценка зависимости водовязущего соотношения от процентного содержания зольного компонента в составе бетона с применением модифицированной добавки	132
---	-----

НАНОТЕХНОЛОГИИ

<i>Муханбетжанова Қ.Т., Сатыбаева Н.А., Турешова А.Е., Ербаев Е.Т.</i> Дисперсионные свойства наночастиц металла	146
--	-----

ЭНЕРГЕТИКА

<i>Утеев Б.Ж., Абишова С.С., Тлеппаев А.М.</i> Сравнительный анализ состояния развития энергетики.....	154
--	-----

АГРОПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Молжигитова Д.К., Камелхан Г., Турганалиев С.Р., Омарбекова А.Д., Балкожа М.А.</i> Система эколого-экономической оценки сельскохозяйственных земель	164
--	-----

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	169
----------------------------------	-----

CONTENTS

<i>Zhumagulov B.</i> Academician Nadirov – the pride of science	5
APPLIED MATHEMATICS	
<i>Alimbekova N. B.</i> Numerical implementation of a nonlinear model of fluid flow in a highly fractured medium by the finite element method.....	8
<i>Zhakebayev D. B., Agadayeva D. S., Karuna O. L.</i> LBM of ternary fluid flow	18
<i>Biloshchytskyi A. A., Kuchansky A. Y., Andrashko Y. V., Yedilkhan D., Toxanov S. N., Faizullin A. R.</i> Models of selective and hybrid types for forecasting time series of air pollution level in smart system	29
<i>Khussanov Zh. E., Teyyashev A. D., Prokhorov A. V., Khussanov A. E., Prokhorov V. P., Kaldybayeva B. M.</i> Mathematical methods and models of operational planning of operating modes of electrochemical protection systems of underground pipelines	40
ENGINEERING MECHANICS	
<i>Aldyarov Zh., Zhangabay N., Zhalgasov A.</i> Results of experimental studies of the design of an external fence with a heat-accumulating layer.....	53
<i>Akhmetov S. M., Userbayev M., Akhmetov N. M., Iklasova Zh.U., Zaidemova Zh.K.</i> Automation of optimal design of drilling rig transmission	61
<i>Gholamreza Rouhi.</i> Continuum mechanics: Applications in bone remodeling and bone resorption models	70
<i>Turalina D. E., Arshabekova A. M.</i> Investigation of the whirlpower mini-HYDROELECTRIC power station using the CFD module in THE COMSOL multiphysics environment	79
INFORMATION TECHNOLOGY	
<i>Kulzhanova A., Rakhimova D., Bakibayev T.</i> Problems of the blocked data encryption process and its application for increasing data security	90
<i>Mansurova M. E., Postolache O. A., Zholdas N. A., Sarsembaeva T. S., Ixanov S. Sh.</i> Monitoring system for young diabetes patients	99
<i>Tatygulov A. A., Gizatulina A. Sh.</i> Considerations on the organization of high-quality and comprehensive training of the construction industry specialists in higher educational institutions of the republic of Kazakhstan related to the application of bim	106
<i>Uskenbayeva R. K., Kuandykov A. A., Bolshibayeva A. K.</i> Ensuring observability and control of business processes in the existing logistics system in Kazakhstan	117

CHEMICAL TECHNOLOGY

Akatan K., Kabdrakhmanova S. K., Imasheva A. A., Kuanyshbekov T. K., Ibraeva Zh. E., Kairbekov N. Study of the effect of mechanical activation on the structural features of cellulose from annual plant- raw materials 126

Lukpanov R. E., Dusembinov D. S. Rese assessment of the dependence of the water-binder ratio on the percentage of ash component in the composition of concrete with the use of a modified additive..... 132

NANOTECHNOLOGIES

Mukhanbetzhanova K. T., Satybaeva N. A., Tureshova A. E. Dispersion properties of metal nanoparticles 146

ENERGETICS

Uteyev B. Zh., Abishova S. S., Tleppeev A. M. Comparative analysis of the state of energy development..... 154

AGROINDUSTRY

Molzhigitova D. K., Kamelkhan G., Turganaliev S. R., Omarbekova A. D., Balkozha M. A. The system of ecological and economic assessment of agricultural land 164

THE INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 169

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 06.09.2021 г.
Гарнитура Таймс. Формат 70x100 ¹/₁₆.
Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии ТОО «Luxe Media Publishing»