

DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

# "IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

international scientific-practical journal

**ALMATY, KAZAKHSTAN**

ISSN: 3007-8946

**15 APRIL 2025**



els.education23@mail.ru



irc-els.com

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL  
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**



**Main editor:** G. Shulenbaev

**Editorial colleague:**

B. Kuspanova  
Sh Abyhanova

**International editorial board:**

R. Stepanov (Russia)  
T. Khushruz (Uzbekistan)  
A. Azizbek (Uzbekistan)  
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

15 апреля 2025 г.  
Almaty, Kazakhstan

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-3-7

УДК 004.10:519.872

## ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ БЕССЕЛЯ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОЖИДАЕМЫХ ДОХОДОВ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСТОЧНИКОМ ПОВТОРНЫХ ВЫЗОВОВ

КОПАТЬ Д.Я.

канд. физ.-мат. наук

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

*Сети с системами с источником повторных вызовов (ИПВ) более известные как RQ-сети является математической моделью колл-центра, где в случае занятости всех операторов заявка становится с ИПВ и через случайное время с известным средним значением пытается заново дозвонится к оператору. В случае успешности дозвона заявка обслуживается оператором случайное время, по истечении которого она может либо позвонить к другому оператору с другой просьбой либо покинуть центр. Заявка находится в ИПВ случайное время, по истечении которого она покидает сеть.*

*Целью исследования является получение выражения для ожидаемых доходов однолинейных систем сети в случае, когда доходы от переходов между состояниями сети являются случайными величинами с известными средними значениями без предположения функционирования систем сети в режиме насыщения. Получена система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) для ожидаемых доходов систем сети. Для решения данных ОДУ используется модифицированная функция Бесселя первого рода (МФБ-1) целого порядка, для работы с которой можно использовать любой пакет компьютерной математики, например Wolfram Mathematica или MathCAD.*

**Ключевые слова:** *открытая сеть массового обслуживания, функция Бесселя, ожидаемый доход, источник повторных вызовов, режим насыщения.*

**Введение. Описание сети.** Системы массового обслуживания (СМО) с повторными вызовами или RQ-системы (Retrial Queueing System) – СМО с наличием повторных обращений заявок к обслуживающему прибору спустя некоторое случайное время после неудачной попытки обслуживания. Такие ситуации могут быть вызваны не только отсутствием свободных серверов в моменты поступления заявок, но некоторыми техническими причинами. Впервые применение данных систем для анализа и оптимизации различных телекоммуникационных систем, сетей мобильной связи, call-центров было представлено в работах [1–4]. Детальное описание RQ-систем и обзор результатов их исследования представлены в монографии [5].

Рассмотрение сетей массового обслуживания (СМО) с RQ-системами шло в 2 направлениях. Первое из них [6] – это разделение запроса на несколько частей, каждая из которых обслуживается в отдельной СМО. Если хотя бы одна часть заявки не находит свободного прибора, она перемещается в источник повторных вызовов (ИПВ) дожидаться освобождения. После обслуживания отдельной части заявки она покидает СМО и дожидается обслуживания остальных частей заявок в ИПВ, после чего покидает сеть. Данное направление моделируется многопроцессорную компьютерную сеть с распараллеливанием пользовательского запроса, а ИПВ моделируем часть оперативной памяти, хранящей данные запросы. Второе направление связано с тем фактом, что заявка из внешней среды отправляется в распределительную СМО, а затем в остальные, если они в этот момент времени свободны или в ИПВ в противном случае. В этих статьях было найдены выражения для средних характеристик этих сетей. Данное направление моделирует большой колл-центр, а где одно СМО играет роль диспетчера, распределяющего запросы, а остальные специалистов или абонентов, с которыми желает связаться пользователь. Данная статья

предлагается второе направление такого рода СеМО, но целью исследования данной статьи является нахождение ожидаемых доходов систем сети в случае, когда доходы от переходов между состояниями сети являются случайными величинами с известными моментами первых двух порядков, но без предположения функционирования систем сети в режиме насыщения.

Рассмотрим открытую СеМО, состоящую из  $n+1$  однолинейных СМО и ИПВ. Из внешней среды поступает простейший поток заявок с интенсивностью  $\lambda_{n+1}$  в СМО  $S_{n+1}$ . Если ЛО свободна, то заявка становится на обслуживание, причём длительность обслуживания имеет показательное распределение (п.р.) с параметром  $\mu_{n+1}$ . По завершению обслуживания заявка переходит  $j$ -тую СМО с вероятностью  $p_{n+1,j}$ ,  $j = \overline{1, n}$  или с вероятностью  $p_{n+1,0}$  покидает СеМО в случае её нестандартности. Если ЛО в момент поступления заявки занята, то заявка становится в ИПВ, где через случайное время, распределённое экспоненциально с параметром  $\gamma_{i+1}$ , повторно поступает в СМО  $S_{n+1}$ . Остальные СМО действуют похожим образом. После поступления в них заявок, если ЛО оказывается пустой, то она становится на обслуживание, причём длительность обслуживания имеет п.р. с параметром  $\mu_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ . По завершении обслуживания заявка с вероятностью  $p_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  она переходит в  $j$ -тую СМО или с вероятностью  $p_{i0}$  покидает сеть. Заявки ИПВ находятся в течении ограниченного СВ с п.р. с параметром  $\eta$  времени, по истечении которого она покидает сеть.

Состояние описанной сети определяется вектором

$$\vec{k}(t) = (k_1(t), k_2(t), \dots, k_n(t), k_{n+1}(t), k_{n+2}(t)), \quad (1)$$

где компонента  $k_i(t)$  – число положительных заявок в системе  $S_i$  в момент времени  $t$ ,  $i = \overline{1, n+1}$ ,  $k_{n+2}(t)$  – количество заявок в ИПВ в момент времени  $t$ .

Требуется найти ожидаемые доходы систем такой сети.

**Система ДУ для ожидаемых доходов систем сети.** Рассмотрим динамику изменения доходов  $i$ -й СМО сети,  $i = \overline{1, n+1}$ . Пусть доход этой СМО в начальный момент времени был равен  $v_{i0}$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Нам нужно найти доход системы  $V_i(t)$  в момент времени  $t$ ,  $i = \overline{1, n+1}$ . Доход  $i$ -й СМО в момент времени  $t + \Delta t$  можно записать в виде

$$V_i(t + \Delta t) = V_i(t) + \Delta V_i(t, \Delta t) \quad (2)$$

где  $\Delta V_i(t, \Delta t)$  – изменение дохода системы  $S_i$  на интервале  $[t, t + \Delta t]$ . Равенство (2) можно переписать в виде:

$$V_i'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta V_i(t, \Delta t) (\Delta t)^{-1} \quad (3)$$

Чтобы его найти выпишем условные вероятности событий, которые могут произойти за время  $\Delta t$ , а также изменения доходов  $i$ -й СМО, которые связаны с этими событиями,  $i = \overline{1, n+1}$ . Возможны следующие ситуации:

1) в  $n+1$ -ю СМО из внешней среды за время  $\Delta t$  поступит заявка с вероятностью  $\lambda_{n+1}u(1 - k_{n+1})\Delta t + o(\Delta t)$ ; доход  $n+1$ -й СМО увеличится на  $r_{n+1}$ , где  $r_{n+1}$  – СВ с м.о.  $M\{r_{n+1}\} = a_{n+1}$ , где  $u(x)$  – функция Хевисайда;

2) в ИПВ из внешней среды за время  $\Delta t$  поступит заявка с вероятностью  $\lambda_{n+1}u(k_{n+1})\Delta t + o(\Delta t)$ ; доход  $n+2$ -й СМО (ИПВ) увеличится на  $r_{n+1}$ ;

3) из ИПВ в  $n+1$ -ю СМО за время  $\Delta t$  перейдет заявка с вероятностью  $\gamma_{i+1}u(1 - k_{n+1})\Delta t + o(\Delta t)$ ,  $i = \overline{1, n}$ ; доход  $n+1$ -й СМО не изменится;

4) из ИПВ по завершении времени ожидания заявка покинет сеть с вероятностью  $\eta u(k_{n+2})\Delta t + o(\Delta t)$ , доход  $n+2$ -й СМО уменьшится на величину  $\bar{r}_{n+1}$  за счет упущенной системой выгоды, где  $\bar{r}_{n+1}$  – СВ с м. о.  $M\{\bar{r}_{n+1}\} = c_{n+1}$ ;

5) заявка после обслуживания в  $i$ -й СМО покинет сеть с вероятностью  $\mu_i p_{i0} u(k_i)\Delta t + o(\Delta t)$ ,  $i = \overline{1, n}$ ; убыток  $i$ -й СМО составит  $R_{i0}$ , где  $R_{i0}$  – СВ с м. о.  $M\{R_{i0}\} = b_{i0}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;

6) время обслуживания заявки в  $i$ -й СМО закончилось и она переходит в  $j$ -ю СМО с вероятностью  $\mu_i p_{ij} u(k_i)\Delta t + o(\Delta t)$ ,  $i, j = \overline{1, n+1}$ ; доход  $i$ -й СМО уменьшится на величину  $R_{ij}$ , а доход  $j$ -й СМО увеличится на эту величину, где  $M\{R_{ij}\} = a_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ ,  $i \neq j$ . Аналогично, когда время обслуживания или ожидания положительной заявки в  $j$ -й СМО закончилось и она переходит в  $i$ -ю СМО опять как положительная заявка, доход  $i$ -й СМО увеличится на величину  $R_{ji}$ ;

7) за время  $\Delta t$  состояние сети не изменится вероятность такого события равна

$$1 - \left( \lambda_{n+1} + \eta + \gamma_{n+1} \sum_{i=1}^n \mu_i u(k_i) \right) \Delta t + o(\Delta t), \quad i = \overline{1, n};$$

суммарный доход системы  $S_i$  может увеличиться (уменьшиться) на величину  $r_i \Delta t$ , где  $M\{r_i\} = c_i$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ .

Пусть  $\forall t$  СВ  $r_{n+1}, \bar{r}_{n+1}, R_{i0}, R_{ij}$  не зависят от СВ  $r_i$ . Тогда получаем, что:

$$\Delta V_i(t, \Delta t), i = \overline{1, n} = \begin{cases} -R_{i0} + r_i \Delta t & \text{с вер. } \mu_i p_{i0} u(k_i) \Delta t + o(\Delta t), \\ -R_{ij} + r_i \Delta t & \text{с вер. } \mu_i p_{ij}^+ u(k_i) \Delta t + o(\Delta t), \\ R_{ji} + r_i \Delta t & \text{с вер. } \mu_j p_{ji} u(k_j) \Delta t + o(\Delta t), \\ r_i \Delta t & \text{с вер. } 1 - \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_{0i}^+ + \lambda_{0i}^- + \mu_i) u(k_i(t)) + \gamma_i u(d_i(t)) + \beta_i u(1 - d_i(t)) \right] \Delta t + o(\Delta t). \end{cases}$$

$$\Delta V_{n+1}(t, \Delta t) = \begin{cases} r_{n+1} + r_i \Delta t & \text{с вер. } \lambda_{n+1} (1 - u(k_{n+1})) \Delta t + o(\Delta t), \\ -R_{n+1j} + r_i \Delta t & \text{с вер. } \mu_{n+1} p_{n+1,j} u(k_{n+1}) \Delta t + o(\Delta t) \end{cases}$$

$$\Delta V_{n+2}(t, \Delta t) = \begin{cases} r_{n+1} + r_i \Delta t & \text{с вер. } \lambda_{n+1} u(k_{n+1}) \Delta t + o(\Delta t), \\ -\bar{r}_{n+1} + r_i \Delta t & \text{с вер. } \eta u(k_{n+2} + 1) \Delta t + o(\Delta t), \end{cases}$$

Тогда математическое ожидание изменения дохода равно:

$$\begin{aligned} M\{\Delta V_i(t, \Delta t)\} = & (-b_{i0} + c_i \Delta t) (\mu_i p_{i0} M u(k_i) \Delta t + o(\Delta t)) + \\ & + \sum_{j=1}^n (-a_{ij} + c_i \Delta t) (\mu_i p_{ij} M u(k_i) \Delta t + o(\Delta t)) + \\ & + \sum_{j=1}^n (a_{ji} + c_i \Delta t) (\mu_j p_{ji} M u(k_j) \Delta t + o(\Delta t)) + \\ & + c_i \Delta t \left[ 1 - \sum_{i=1}^n \mu_i M u(k_i(t)) \Delta t + o(\Delta t) \right], \quad i = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

$$M\{\Delta V_{n+1}(t, \Delta t)\} = (a_{n+1} + c_{n+1}\Delta t)(\lambda_{n+1}(1 - u(k_{n+1}))\Delta t + o(\Delta t)) + \\ + \sum_{j=1}^n (-a_{n+1j} + c_{ij}\Delta t)(\mu_{n+1}p_{n+1,j}Mu(k_i)\Delta t + o(\Delta t)), \\ M\{\Delta V_{n+2}(t, \Delta t)\} = (a_{n+1} + c_{n+2}\Delta t)(\lambda_{n+1}u(k_{n+1})\Delta t + o(\Delta t)) + (\bar{r}_{n+1} + c_{n+2}\Delta t)(\eta u(k_{n+2} + 1)\Delta t + o(\Delta t)).$$

$Mu(k_i) = P(k_i(t) > 0) = 1 - P(k_i(t) = 0)$ . Так как каждая система сети является М/М/1, то согласно [8] получим следующие результаты:

$$Mu(k_i) = 1 - p_{0i}(t) = 1 - \int_0^t q_{1i}(y) e^{-(\lambda_i + \mu_i^*)y} dy - \delta_{0a_i}, \quad (4)$$

где

$$q_{1i}(t) = \mu_i^* \left( \sqrt{\lambda_i / \mu_i^*} \right)^{1-a_i} (1 - \delta_{0a_i}) \left[ I_{a_i-1} \left( 2\sqrt{\lambda_i \mu_i^* t} \right) + I_{a_i+1} \left( 2\sqrt{\lambda_i \mu_i^* t} \right) \right] + \\ + \lambda_i \left( \sqrt{\lambda_i / \mu_i} \right)^{-a_i} \left[ I_{a_i} \left( 2\sqrt{\lambda_i \mu_i^* t} \right) + I_{2+a_i} \left( 2\sqrt{\lambda_i \mu_i^* t} \right) \right], \quad (5)$$

$\lambda_i$  - интенсивность входящего в  $i$ -тую СМО потока,  $\mu_i^*$  - интенсивность выходящего из  $i$ -той СМО потока,  $a_i$  - начальное состояние  $i$ -й СМО,  $I_n(x)$  - МФБ1  $n$ -ого порядка (для СеМО нас будет интересовать случай целого неотрицательного порядка),  $\delta_{0a_i}$  - символ Кронекера. Для нашей сети данные параметры равны:  $\lambda_i = \mu_{n+1}p_{n+1,i} + \sum_{j=1}^n \mu_j p_{ji}, i = \overline{1, n}$ ,  $\mu_i^* = \mu_i$ . Введем обозначение  $v_i(t) = M\{V_i(t)\}$ . Из (2) имеем  $v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + M\{\Delta V_i(t, \Delta t)\}$ , откуда, перейдя к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$ , и задавая начальные условия  $v_i(0) = v_{i0}, i = \overline{1, n+2}$ , получим выражения для ожидаемых доходов систем сети

$$v_i(t) = v_i(0) + c_i t - b_{i0} \mu_i p_{i0} \int_0^t Mu(k_i(\tau)) d\tau - \\ - \sum_{j=1}^n a_{ij} \mu_i p_{ij} \int_0^t Mu(k_i(\tau)) d\tau + \sum_{j=1}^n a_{ji} \mu_j p_{ji} \int_0^t Mu(k_j(\tau)) d\tau, i = \overline{1, n}, \\ v_{n+1}(t) = v_{n+1}(0) + c_{n+1}t + r_{n+1} \lambda_{n+1} \left( t - \int_0^t Mu(k_{n+1}(\tau)) d\tau \right) - \sum_{j=1}^n a_{n+1j} \mu_{n+1} p_{n+1,j} \int_0^t Mu(k_{n+1}(\tau)) d\tau, \\ v_{n+2}(t) = c_{n+2}t + r_{n+1} \lambda_{n+1} \int_0^t Mu(k_{n+1}(\tau)) d\tau - \bar{r}_{n+1} \eta,$$

где

$$\int_0^t Mu(k_i(\tau)) d\tau = t(1 - P(k_i(t) = 0)) = t \left( 1 - \int_0^t q_{1i}^{(p)}(y) e^{-(\lambda_i^{(p)} + \mu_i^{(p)})y} dy - \delta_{0a} \right).$$

Методы нахождения последнего интеграла с помощью рядов и имитационного моделирования представлены в статье [9].

**Заключение.** В статье представлена RQ-сеть с нетерпеливыми заявками. С помощью МФБ1 найдены ожидаемые доходы систем сети в случае, когда доходы от переходов между состояниями сети являются СВ с известными средними значениями. Показано, что если системы сети не находятся в режиме насыщения, то ожидаемый доход является нелинейной функцией времени даже если параметры сети не зависят от времени и состояний сети.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wilkinson R. I. Theories for toll traffic engineering in the USA // The Bell System Technical Journal, 1956. Vol. 35, no. 2. P. 421–507.
2. Cohen J.W. Basic problems of telephone traffic and the influence of repeated calls // Philips Telecommunication Review, 1957. Vol. 18, no. 2. P. 49–100.
3. Gosztony G. Repeated call attempts and their effect on traffic engineering // Budavox Telecommunication Review, 1976. Vol. 2. P. 16–26.
4. Kuznetsov D.Yu., Nazarov A.A. Analysis of non-Markovian models of communication networks with adaptive protocols of multiple random access // Avtomatika i Telemekhanika, 2001. Vol. 5. P. 124–146.
5. Artalejo J.R., G´omez-Corral A. Retrial Queueing Systems. A Computational Approach. Springer, 2008.
6. Осипов, О. А. Анализ RQ-сети массового обслуживания с делением и сиянием требований. / О.А. Осипов // Вестник ТГУ. УВТИ. – 2018. – № 43. – С. 49-55.
7. Русилко, Т.В. Сеть массового обслуживания с повторными вызовами и нетерпеливыми клиентами как модель колл-центра / Т.В. Русилко, А.В. Паньков// Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. - 2024. - Т. 24. - № 2. - С. 287–297.
8. Parthasarathy, P.R. A Transient solution to an M/M/1 queue: a simple approach / P.R. Parthasarathy // Advances in Applied Probability. – 1987. – Т. 19. – №. 4. – С. 997-998.
9. Копать, Д. Я. Применение функций Бесселя для анализа ожидаемых доходов некоторых G-сетей / Д. Я. Копать // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 2, Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. – 2025. – Т. 15. – № 1. – С. 155-164.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-8-10

ӘӨЖ 687 12:397

## КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ҮШІН ЭКСПРЕССИВТІ ҚҰРАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ЖАЛПЫ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІНІҢ ТӘСІЛДЕРІ

СМАЙЛОВА УЛЖАН УСЕНАЛИЕВНА

Алматы технологиялық университеті  
ассистент-профессор., PhD

ҚУАН АЙЯ ЖЕКСЕНҚЫЗЫ

«Дизайн, текстиль және киім технологиялары» факультеті студенті  
Алматы, Қазақстан

**Аннотация:** Бұл мақалада сәндік композициядағы теориялық негіздері туралы, яғни ашық, жабық, ырғақты, түс шешімі бойынша қарама-қарсы, нюансты композицияларды орындау ерекшеліктері мен ережелері туралы баяндалады.

**Кілт сөздер:** Композиция, сәндік композиция, ашық композиция, жабық композиция, ырғақ, үйлесімді түстік шешімдер.

Сәндік композиция - бұл эмоционалды-сенсорлық қабылдауды күшейтетін стильдеу, абстракция элементтерін қамтитын экспрессивтілік пен декоративтіліктің жоғары дәрежесі бар композиция. Сәндік композицияның негізгі мақсаты-оның максималды экспрессивтілігі мен эмоционалдылығына қол жеткізу.

«Композиция» термині латынның «compositio» сөзінен шыққан, ол бөлшектерді құрастыру, біріктіру, элементтердің реттелген қосылуы дегенді білдіреді.



Сурет 1 – Жабық композиция

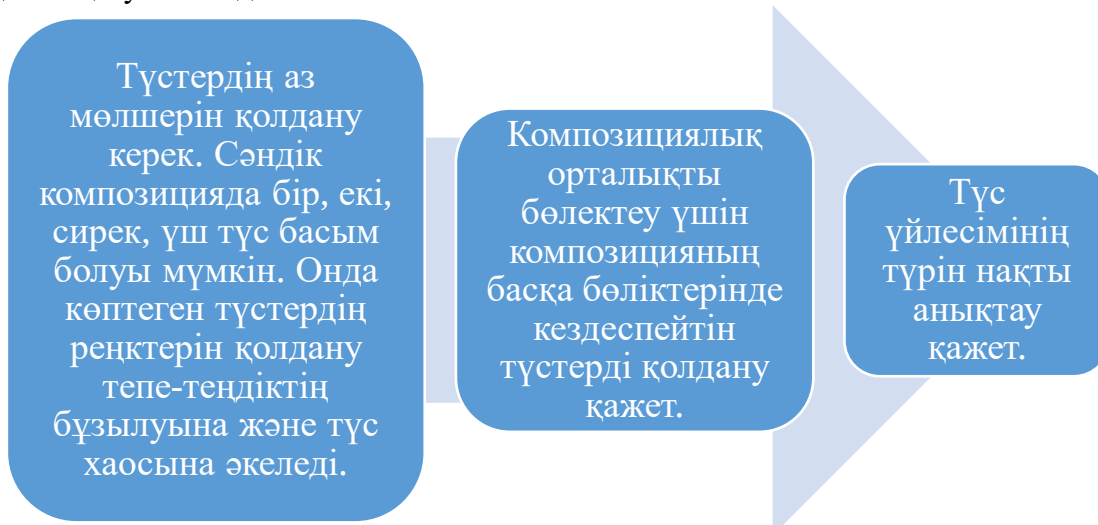
Композиция теориясы белгілі бір ережелер мен заңдарды білуге сүйенеді, композициялық құрылымды қалыптастыру үшін экспрессивті құралдарды қолданудың жалпы заңдылықтары мен әдістерін ашады (контраст немесе нюанс, сәйкестілік, симметрия немесе асимметрия, динамика немесе композицияның және оның элементтерінің статикасы, тұйықталуы немесе ашықтығы). Алайда, бейнелеу немесе сәндік-қолданбалы өнердің жаңа туындысын жасау, оны іздеу, яғни композициялық шешімдер - бұл шығармашылық процесс.

Ашық композиция - оны фрагментті деп те атайды - оны форматтан тыс жалғастыруға, солға, оңға, жоғары және төмен жалғастыруға болады. Көрерменнің көзқарасы форматтан тыс шығады.



Сурет 2 - Ашық композиция

Түс шешімі жалпы композициялық шешім сияқты маңызды рөл атқарады. Сәндік композицияда түс көркемдік экспрессивтіліктің күшті құралы ретінде қарастырылады. Түстік композицияны пішіні, түсі және масса қарқындылығы бойынша әр түрлі тепе-теңдік ретінде анықтауға болады.



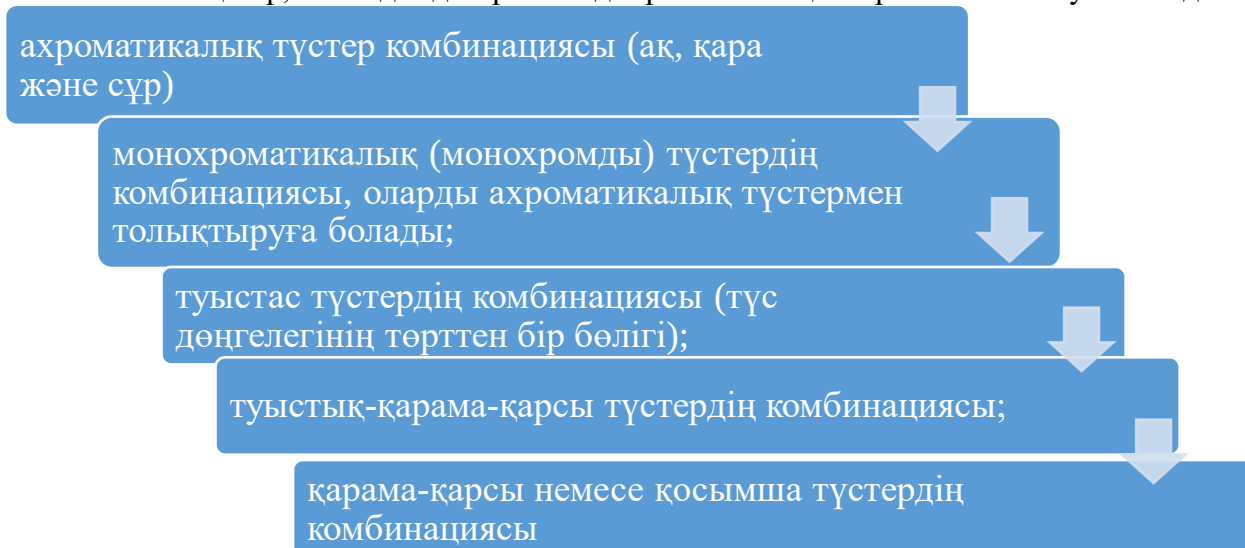
Сурет 3 – Түс шешімін оңтайлы қолдану

Үйлесімді түс комбинацияларын қарама-қарсы және нюансты деп бөлуге болады. Қарама-қарсы хроматикалық әрі бейнелі түрде, көзге жеңіл көрінуі мүмкін.

Нюанстық үйлесімділік бір түсті, бірақ әртүрлі реңктегі түстерге, түс шеңберіндегі жақын орналасқан реңктерден құралуы мүмкін. Сондай-ақ, нюанстық үйлесімдер ахроматикалық түстердің, оған қоса хроматикалық түстер тіркесіміне негізделі алады.



Сурет 4 – Қарама-қарсы және нюанстық түстік шешім  
Сонымен қатар, төмендегідей үйлесімді түс комбинацияларын негізге алуға болады:



Сурет 5 – Үйлесімді түстік шешімдер мысалдары

Қорытындылай келе, сәндік композиция стильдеу, абстракция элементтерін қамтитын, сондай-ақ экспрессивтілік пен декоративтіліктің жоғары дәрежесінен құралған композиция түрі. Оның мақсаты-оның максималды экспрессивтілігі мен эмоционалдылығына қол жеткізуінде. Ал оған қол жеткізу үшін жоғарыда көрсетілген, яғни ашықтық, жабықтық, ырғақтылық, түстік шешімдердің белгілі бір заңдылықтары мен әдіс-тәсілдерін оңтайлы қолдану керек.

### ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Арнхейм Р. Визуальное мышление. Зрительные образы: феноменология и эксперимент, Душанбе, 1973.
2. Артамонов М.И. Соровища саков. - М.: Искусство, 1973.
3. Смайлова У.У., Нуржасарова М.А. Костюм дизайндағы шығармашылық композиция – костюм дизайнынның аймағы ретінде// Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства», 16-17 октября 2014 года АТУ, г. Алматы.
4. Смайлова У.У., Нуржасарова М.А. Орта Азия және қазақстан халқының киімдеріне маталар тарихының талдамысының зерттемісе// Материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых «Наука. Образование. Молодежь», 17-18 апреля 2014 года.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-11-16  
UDC 66-4

## IMPROVEMENT OF THE CORN STARCH PRODUCTION PROCESS

**MIKABERIDZE MALKHAZ SHOTAEVICH**

Academic Doctor of Technical Sciences, Professor of the Akaki Tsereteli State University, department of Food Technology; Member of the Academy of Ecological Sciences of Georgia, Academician, Georgia.

**Abstract.** *The production of corn starch is a relatively complex process. Special varieties of corn containing a large amount of starch are used as raw material for starch production.*

*The aim of our research was to intensify the process of production of corn starch, the use of energy-efficient energy in the process of drying starch, namely drying in the field of infrared thermal rays (IR). To study the process of thermal treatment of corn starch, a special technique was developed, the main factors influencing the process and their relationship were determined.*

*As a result of the research, the modes of drying corn starch in the field of IR rays were established, namely: with continuous irradiation: generator type - NIK-220-1000; irradiation type - two-sided; irradiation density  $P = 0,35-0,40 \text{ kw/m}^2$ ; the distance between the test material and the IR generators  $H = 18 \text{ cm}$ ; material thickness  $\delta = 5 \text{ cm}$ ; thermal irradiation duration -  $\tau = 280 \dots 290 \text{ min}$  ( $55 \dots 57^\circ\text{C}$ ); residual moisture content of the semi-finished product 12-13%. Drying corn starch in the field of infrared rays is expedient and promising. The intensity of the process increases by 5 times or more compared to existing drying methods.*

**Key words:** *corn starch, drying, infrared heat rays.*

## INTRODUCTION

Special varieties of corn containing a large amount of starch (70-80%) and a smaller amount of protein are used as raw materials for the production of starch. The production of high-quality starch from corn grains requires efficient processing of its components. [1, 7, 8, 9, 24, 26, 29, 30].

Corn starch is used in sauces, desserts, bread, confectionery, medical tablets as a binder, to impart rigidity to fabrics, in the production of environmentally friendly materials, in cosmetics - as a natural substitute for talc and cream, etc. [2, 3, 4, 5, 11, 13, 18, 19, 23, 25, 31].

The production of corn starch is a relatively complex process that includes several technological stages. Below are the traditional technological modes required for the production of corn starch. The traditional technological process for the production of corn starch includes:

- Processing the grain in warm water containing sulfuric acid for 24-48 hours. Sulfuric acid helps soften the grain and prevents the development of unwanted microorganisms.
- After soaking, the grain is crushed and the germ is separated from the endosperm.
- Grains cleaned of germs are subject to fine grinding.
- The next operation is the separation of starch from milk.
- At the next stage, starch milk is refined. Refined starch milk contains from 11 to 14% dry matter. Most of the dry matter (80-92%) of starch milk is starch. Starch milk also contains (6-10%) protein substances, a small amount of fat, mineral salts and other impurities.
- The next task is to purify the starch from proteins and other impurities as much as possible. This is achieved through intensive washing and filtration.
- The final operation is drying of raw starch to a moisture content of 13% at a temperature of  $55-60^\circ\text{C}$ .
- Packaging is carried out in sealed bags or containers and stored at a temperature of  $10-15^\circ\text{C}$  and a humidity of no more than 75%.

Of the total amount of starch contained in the grain, 86-93.5% of starch is obtained [6, 22, 24, 27, 28, 32, 34, 35, 37, 39, 40].

The aim of our research was to intensify the process of corn starch production, the use of energy-efficient energy in the process of starch drying, namely drying in the field of infrared (IR) thermal rays, the selection of generators for the process, determining the efficiency of this energy, clarifying the corresponding parameters of the drying mode, and at the next stage, providing the starch drying process with a machine and hardware complex using infrared rays.

### **MATERIALS AND METHODS**

The experiments were conducted according to a pre-compiled program and methodology (based on the Akaki Tsereteli State University - Agrarian Faculty, Kutaisi).

To study the process of thermal treatment of corn starch, a special technique was developed, the main factors influencing the process and their relationship were determined [12, 15].

For drying raw materials, we chose infrared rays, taking into account the fact that this type of energy is characterized by a number of positive properties, namely: significantly increases the intensity of technological processes; the effect of IR rays on the processed material maximally preserves useful substances in raw materials and much more [10, 14, 16, 17, 21].

Infrared irradiation measurements were carried out using a thermoelectric device (DTP0924ROP50-50JO). The process temperature was measured with a mercury thermometer and an infrared thermometer (RaytekMiniTempMT6). The residual moisture in the material was determined using a moisture meter (ECV-4V), proteins in the material were determined using the Kjeldahl method, fats were determined using the Randall method, dietary fiber was determined using the gravimetric method, carbohydrates were determined using the polarimetric method, and mineral substances were determined using the "dry" method. [12, 20, 33, 36, 38,41].

Corn starch was added to a laboratory chamber preheated in advance and equipped with IR generators (NIK-220-1000) and evenly distributed on a Teflon tape. The temperature in the drying chamber was maintained by selectively switching on the IR generators and by regulating the air flow supplied to the chamber.

The drying process was considered complete after checking the residual moisture of the material, and performing a visual and organoleptic check. When determining the optimal value of one of the parameters operating in the process, all other parameters had constant values.

### **RESULTS AND DISCUSSION**

Numerous experiments have shown that artificial drying of the test material is effective in one drying phase (50...55 °C).

As a result of the research, drying modes for corn starch in an IR field were established, namely: with continuous irradiation:

- *Generator type* – NIK-220-1000;
- *Irradiation type* – double-sided;
- *Irradiation density* -  $P=0,35-0,40 \text{ kW/m}^2$ ;
- *Distance between the test material and IR ray generators* -  $H=18 \text{ cm}$ ;
- *Material thickness* -  $\delta=5 \text{ cm}$ ;
- *Process temperature* -  $55...57 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- *Duration of thermal irradiation* –  $\tau=280...290 \text{ sec}$ ;
- *Final residual moisture content of the semi-finished product* is - 12-13%.

The results of the experiments showed that the specific effective impact of IR rays on the material significantly improves the quality of the semi-finished product (see Tables 1, 2).

Table 1

Chemical composition of semi-finished corn starch dried with infrared energy

| <b>Chemical substance</b> | <b>Composition, gr</b> |
|---------------------------|------------------------|
| Proteins                  | 10                     |
| Fats                      | 0,6                    |
| Dietary fiber             | 1,7                    |
| Carbohydrates             | 82,5                   |

|          |     |
|----------|-----|
| Water    | 13  |
| Minerals | 0,2 |

Table 2

Organoleptic characteristics of semi-finished corn starch dried with infrared energy

| Indicator name      | Characteristics                               |               |             |
|---------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------|
|                     | Higher Quality                                | First quality | Amylopectin |
| External appearance | Homogeneous powder                            |               |             |
| Color               | White                                         |               |             |
| Smell               | Characteristic of starch without foreign odor |               |             |

**CONCLUSION**

The main factors and interrelationships of the processes of thermal treatment of corn starch in the field of IR rays were revealed: irradiation density, distance between the raw material and IR generators, layer thickness, duration of the process, material humidity before and after drying, type of irradiation (bilateral, unilateral, continuous), process temperature.

As a result of the research, the modes of drying corn starch in the field of IR rays were established, namely: with continuous irradiation: generator type - NIK-220-1000; irradiation type - bilateral; irradiation density  $P = 0,35-0,40 \text{ kw/m}^2$ ; distance between the test material and IR generators  $H = 18 \text{ cm}$ ; material thickness  $\delta = 5 \text{ cm}$ ; Duration of thermal irradiation -  $\tau = 280...290 \text{ min}$  ( $55...57^{\circ}\text{C}$ ); residual moisture content of the semi-finished product is 12-13%.

The technological method of thermal treatment (drying) of corn starch in the field of infrared rays is appropriate and promising. The intensity of the process increases by 5 times or more compared to existing drying methods, which has a positive effect on the quality of the product; the technological process, technological equipment, etc. are simplified.

**CONTRIBUTION**

The author carried out the research, data analysis, preparation of the manuscript material and is responsible for any potential plagiarism. Huge thanks to the administration of the Akaki Tsereteli State University for support and financial support.

**REFERENCES**

1. Амонова, Х. И., & Садикова, С. Ш. (2022). Химическая модификация крахмала. *Gospodarka i Innowacje*, 21, 303-308.;

2. Балыхин, М. Г., Тверитникова, И. С., Кирш, И. А., Банникова, О. А., Безнаева, О. В., Губанова, М. И., ... & Щетинин, М. П. (2021). Биоразлагаемые полимерные материалы на основе полиэтилена и крахмала, модифицированных неионогенным пав. *Пищевая промышленность*, (10), 64-68. DOI 10.52653/PPI.2021.10.10.015;

3. Быкова, С. Т., Бакулина, Л. Ф., & Буравлева, Т. Н. (2009). Способ производства саго из кукурузного крахмала. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37561245>;

4. Бызов, В. А., Кузина, Л. Б., Быкова, С. Т., & Калинина, Т. Г. Использование модифицированного крахмала для улучшения качества хлебобулочных изделий. In *Сборник материалов Поландовских чтений VI международной научно-практической молодежной конференции «Пищевые технологии будущего»*(5 июня 2024 г.)./ФГАНУ НИИХП, отв. ред. д. т. н. Мартыросян ВВ-М.: ООО «Белый Ветер».-2024.-302 с. (p. 48). [https://gosniihp.ru/netcat\\_files/userfiles/Conf/VI\\_Konferentsiya\\_im\\_R.D.\\_Polandovoy\\_2024.pdf#page=48](https://gosniihp.ru/netcat_files/userfiles/Conf/VI_Konferentsiya_im_R.D._Polandovoy_2024.pdf#page=48);

5. Кузьмина, Е. И., Егорова, О. С., Акбулатова, Д. Р., Свиридов, Д. А., Ганин, М. Ю., & Шилкин, А. А. (2022). Новые виды сахаросодержащего сырья для производства пищевой продукции. Пищевые системы, 5(2), 145.;
6. Коптелова, Е., Лукин, Н. Д., & Ахаева, С. М. (2018). Совершенствование сухого способа катионирования крахмала. Хранение и переработка сельхозсырья, (2), 48-52. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-suhogo-sposoba-kationirovaniya-krahmala>;
7. Краус, С. В. (2004). Совершенствование технологии экструзионной переработки крахмалсодержащего зернового сырья. Дис. д-ра техн. наук, 5(01).[https://freereferats.ru/advanced\\_search\\_result.php?keywords=01002638302](https://freereferats.ru/advanced_search_result.php?keywords=01002638302);
8. Крикунова, Л. Н., & Кузьменкова, Н. М. (2013). Оптимизация технологических параметров биотехнологического способа предобработки кукурузы. Хранение и переработка сельхозсырья, (11), 15-17. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21049394>;
9. Леу, А. Г. (2021). Улучшение ресурсоэффективного производства модифицированного крахмала. Инновационные аспекты развития науки и техники, (8), 92-105. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-resursosberegayuschego-proizvodstva-modifitsirovannyh-krahmalov>;
10. Микаберидзе, М. Ш., Чакветадзе, Ш. М., & Пруидзе, М. Р. (2017). Интенсификация процессов сушки ягод в поле ИК лучей. Аэкономика: экономика и сельское хозяйство, (8 (20)), 41-48. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
11. Микаберидзе, М. Ш. (2015). Процессы и машинно-аппаратурные системы пищевых производств. Учебник. Издательство - Государственный Университет Акакия Церетели, г. Кутаиси, 492 ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
12. Микаберидзе, М. Ш., & Кинцурашвили, К. М. (2014). Технология и технологическое оборудование сушки плодов и овощей. Учебник. Издательство - Государственный Университет Акакия Церетели, Кутаиси, 300 ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
13. Микаберидзе, М. Ш. (2012). Расчет и выбор некоторых машино-аппаратных систем в пищевой промышленности. Справочник. Издат. Гос. Унив. Акакия Церетели, г. 100 ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
14. Микаберидзе, М. Ш. (2019). Сушка чернослив в поле инфракрасных лучей. Электронный периодический рецензируемый научный журнал «SCI-ARTICLE. RU», 169. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
15. Микаберидзе М.Ш. Основы планирования пищевых предприятий по переработке аграрного сырья. Учебник Издательство - ООО "МБМ-Полиграф, Кутаиси. 272 ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
16. Микаберидзе, М. Ш. (2011). Выбор и использование экологически чистой энергии в пищевой промышленности. Вторая международная научно-практическая интернет конференция " Проблемы биологический безопасных продуктов питания, новые технологии и бизнес-среды." Издательство-Государственный Университет Акакия Церетели. 115-117; <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
17. Shotaevich, M. M. (2025). INTENSIFICATION OF FOOD ADDITIVES PRODUCTION. In The World Of Science and Education, (15 февраль ТН), 46-53. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
18. Микаберидзе М. Ш. (2023). Дробление зернового сырья (основы технологии производства муки). Учебник. Издательство - Государственного Университета Акакия Церетели. г. Кутаиси. 300 ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
19. Микаберидзе М.Ш. (2022). Переработка пищевых продуктов под давлением. Учебник. Издательство - Государственный Университет Акакия Церетели. 220ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;

20. Микаберидзе, М. Ш. (2012). Основные особенности пищевых продуктов и сырья. Справочник. Издательство - Государственный Университет Акакия Церетели. 50 ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
21. Микаберидзе, М. Ш., & Арабидзе, Ц. В. (2013). Обработка винматериалов инфракрасными лучами. Монография. Издательство "МБМ-Полиграф" 84 ст. <https://orcid.org/0009-0009-5337-4691>;
22. Михайлова, О. С., Крякунова, Е. В., Канарский, А. В., Казаков, Я. В., Романова, А. Н., & Житнюк, В. А. (2019). Биокаталитическая модификация кукурузного крахмала для улучшения физико-механических свойств картона. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, (3 (43)), 57-72. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.3.57;
23. Шешнев, К. В., Мартынов, А. А., & Буханцев, О. В. (2024). Совершенствование технологии изготовления пищевых добавок, крахмалов и крахмалопродуктов с использованием инфракрасного излучения. Вестник Мурманского государственного технического университета, 27(3), 328-342. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>;
24. Фирсова, М. Р., Шомахов, Б. Р., Кушхова, Р. С., Хаширова, З. Т., Кудаев, Р. А., Гяургиев, А. Х., ... & Хатефов, Э. Б. (2024). Оценка содержания крахмала в зерне и реакции на М-и С-типы ЦМС высококрахмалистых гибридов кукурузы. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 185(3), 166-179. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-3-166-179>;
25. Тулегенова, А. Г. (2021). Технология производства мальтодекстрина из кукурузной муки. Трибуна ученого, (3), 27-38. <https://tribune-scientists.ru/media/pdf/032021.pdf#page=27>;
26. Пардаев, О. Р., Турдалиев, З., & Ачилов, Э. (2024). Разработка и исследование инновационного устройства для измельчения и отделения зерна от очищенной мякоти. Universum: технические науки, 3(5 (122)), 23-25. <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-issledovanie-innovatsionnogo-ustroystva-dlya-izmelcheniya-i-separatsii-zerna-iz-ochischennyh-pochatkov-kukuruzy>;
27. Погодина, Я. Д., & Сафин, Р. Р. (2022). Модификация биополимеров на основе крахмала. In Актуальные вопросы науки, нанотехнологий и производства (pp. 317-320). <https://elibrary.ru/item.asp?id=50167469>;
28. Юлдашева, Р. К., Тиллаева, Д. М., & Шарипов, М. С. (2021). Изменение свойств кукурузного крахмала при окислении для его использования в поверхностных размерах бумаги. В инновационных идеях молодых исследователей (pp. 17-23). <https://elibrary.ru/item.asp?id=44678970>;
29. Шаззо, А. А., Бутина, Е. А., & Герасименко, Е. О. (2011). Существующие и перспективные направления комплексной переработки зерна кукурузы. Новые технологии, (2), 54-58.;
30. Турдалиев, З., & Ачилов, Э. (2024). Улучшение процессов дробления и очистки кукурузных початков для повышения эффективности производства и качества продукции. Экономика и социум, (5-1 (120)), 1645-1648. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-protsessov-drobleniya-i-ochistki-pochatkov-kukuruzy-dlya-povysheniya-effektivnosti-proizvodstva-i-kachestva>;
31. Тулегенова, А. Г. (2021). Технология производства мальтодекстрина из кукурузной муки. Трибуна ученого, (3), 27-38. <https://tribune-scientists.ru/media/pdf/032021.pdf#page=27>;
32. Palamarchuk, V., Krychkovskyi, V., & Honcharuk I, T. N. (2021). The modeling of the production process of high-starch corn hybrids of different maturity groups. European Journal of Sustainable Development. 2021.№ 1, vol. 10. P. 584-598. <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/card.php?lang=uk&id=27775>;

33. Zarski, A., Bajer, K., & Kapuśniak, J. (2021). Review of the most important methods of improving the processing properties of starch toward non-food applications. *Polymers*, 13(5), 832.;
34. Othman, S. H., Nordin, N., Azman, N. A. A., Tawakkal, I. S. M. A., & Basha, R. K. (2021). Effects of nanocellulose fiber and thymol on mechanical, thermal, and barrier properties of corn starch films. *International journal of biological macromolecules*, 183, 1352-1361. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.082>;
35. Ricky, E., Mpelwa, M., Wang, C., Hamad, B., & Xu, X. (2022). Modified corn starch as an environmentally friendly rheology enhancer and fluid loss reducer for water-based drilling mud. *SPE Journal*, 27(02), 1064-1080. <https://doi.org/10.2118/209195-PA>;
36. Ma, H., Liu, M., Liang, Y., Zheng, X., Sun, L., Dang, W., ... & Liu, C. (2022). Research progress on properties of pre-gelatinized starch and its application in wheat flour products. *Grain & Oil Science and Technology*, 5(2), 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2022.01.001>;
37. Gui, Y., Zou, F., Li, J., Zhu, Y., Guo, L., & Cui, B. (2021). The structural and functional properties of corn starch treated with endogenous malt amylases. *Food Hydrocolloids*, 117, 106722. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106722>;
38. Bangar, S. P., Singh, A., Ashogbon, A. O., & Bobade, H. (2023). Ball-milling: A sustainable and green approach for starch modification. *International journal of biological macromolecules*, 237, 124069. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124069>;
39. Marta, H., Cahyana, Y., Bintang, S., Soeherman, G. P., & Djali, M. (2022). Physicochemical and pasting properties of corn starch as affected by hydrothermal modification by various methods. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 792-812. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2064490>;
40. Zhang, Z., & Bao, J. (2023). Recent advances in modification approaches, health benefits, and food applications of resistant starch. *Starch-Stärke*, 75(9-10), 2100141. <https://doi.org/10.1002/star.202100141>;
41. Cheng, H., Chen, L., McClements, D. J., Yang, T., Zhang, Z., Ren, F., ... & Jin, Z. (2021). Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends in food science & technology*, 114, 70-82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017>.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-17-26

УДК 50.47.29

## МЕТАЛДЫ ТІКЕЛЕЙ ЛАЗЕРЛІК БАЛҚЫТУ КЕЗІНДЕ ПРОЦЕСТІҢ САПАСЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ АҚАУЛАРДЫ АНЫҚТАУ

ПЕРМЕБАЕВА ДИЛЬНАЗ НҰРЛАНҚЫЗЫ, АБДУГУЛОВА ЖАНАТ  
КАППАРОВНА

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Ақпараттық  
технологиялар факультетінің магистранты, доценті

**Аннотация.** Металды тікелей лазерлік балқыту (DMLM) кезінде сапаны бақылау және кепілдік мәселелері туындайды. Станоктың мерзімді диагностикасы және одан кейінгі бөлшектерді тексеру ақаулы бөлшектерді өңдеудің негізсіз шығындарымен байланысты мәселелерді анықтайды. Бұл мақалада біз өндіріс процесінде ақауларды анықтаудың және жабдықтың минималды модификациясымен қолданыстағы коммерциялық dmlm жүйелерін пайдаланатын бөлшектердің сапасын болжаудың екі әдісін көрсетеміз. Жаңа функциялар кәдімгі фотодиод датчиктерінің уақыт қатарлары мен стандартты станокты басқару сигналдары негізінде алынды. Әдістемелердің бірінде Байес тәсілі өлшеулерді процестің бірнеше күйлерінің біріне байланыстырады, бұл процестің ауытқуларын жіктеуге мүмкіндік береді. Екінші тәсілде ең кіші квадраттардың регрессиялық моделі материалдың белгілі бір ақауларының ауырлығын болжайды.

**Кілт сөздер:** лазерлік балқыту технологиясы, инновациялық басқару алгоритмдері, аддитивті өндіріс, металл ұнтақтарының дисперсиясы.

### Кіріспе

Тікелей металды лазерлік балқыту (DMLM) - бұл күрделі бөлшектер лазерді компьютердің басқаруымен анықталған үлгі бойынша ұнтақ металдың қабатына бағыттау арқылы құрастырылатын қоспаларды өндіру процесі. Бұл процесс қабаттан қабатқа және бүкіл құрылыс аймағына айтарлықтай өзгергіштікті көрсете алады. Сапаны бақылау мен сенімділіктің жеткіліксіздігі DMLM-дің өнімділігі жоғары компоненттер мен жоғары көлемді өндіріс үшін әлеуетін шектейді. Кәдімгі тәсілдерге құрастыру арасындағы машиналық диагностика және төменгі ағындағы бөлшектерді тексеру кіреді, бірақ бұл процестер ақаулы бөлшектерді өңдеуге негізсіз шығындар жұмсалғаннан кейін ғана ақауларды анықтайды.

Ағымдағы тексерулердің тақырыбы процестегі бақылау мен бақылаудың қажеттілігі болды. Жақында жүргізілген жұмыс көптеген әртүрлі зондтау және бейнелеу әдістерін пайдалана отырып, процестегі ақауларды бақылау және анықтауды зерттеді.

Осы әдістердің көпшілігінде арнайы аспаптар қолданылады және жоғары ажыратымдылықты және жоғары жылдамдықты деректер ағындары шығарылады, бұл оларды өндірістік жағдайда коммерциялық машиналарда орналастыруды қиындатады.

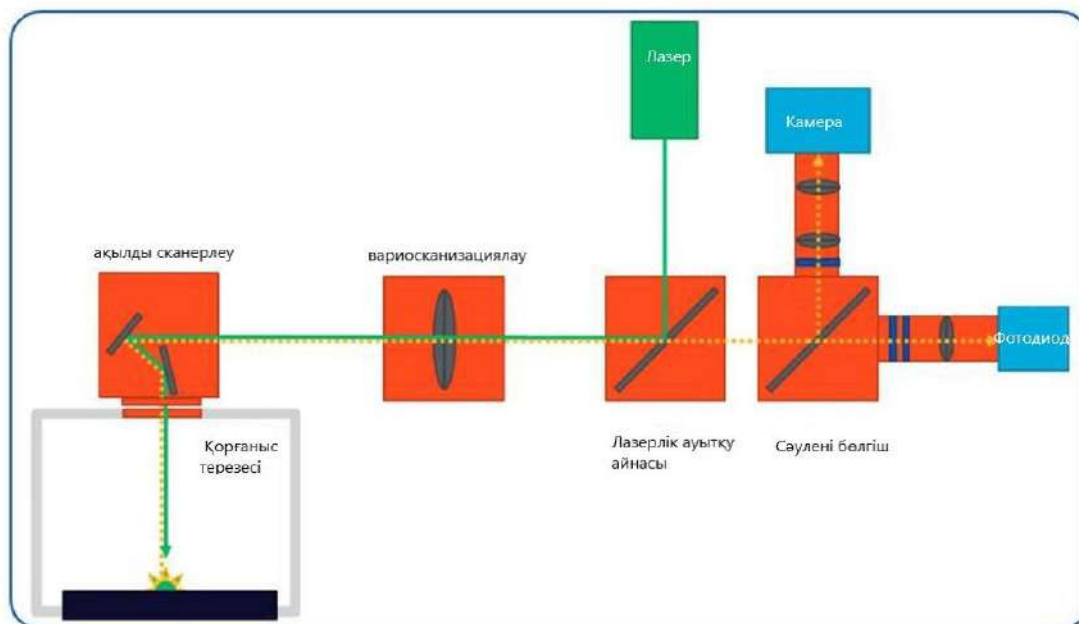
Бұл мақалада қол жетімді сенсорлық пакеттерге ең аз өзгертулер енгізе отырып, түпнұсқа жабдық өндірушілерінің машиналарында оңай орналастыру принципіне сәйкес әзірленген технологиялық процестерді бақылаудың жаңа әдістері сипатталған. Екі әдіс ұсынылады: біреуі фотодиодты сигналдардың уақытқа тәуелді модельдерін қолдана отырып, технологиялық процестердің ауысуын жіктеу, екіншісі машиналық оқыту модельдерін қолдана отырып, бөлшектердің ақауларының ауырлығын болжау.

### Материалдар мен әдістер.

Машина конфигурациясы. 1-суретте балқытылған бассейнді бақылаудың стандартты пакеті бар коммерциялық ҚОЛ жетімді DMLM машинасының репрезентативті жүйелік конфигурациясы көрсетілген.

Өнеркәсіптік ДК гальванометриялық сканер мен лазерді басқаруды қамтамасыз ету үшін кіріс дизайн файлдарын түсіндіреді. Қосымша оптика балқытылған бассейнен шығарылатын жарықты фотодиодтар мен CMOS камераларын қоса, желілік датчиктерге бағыттайды. Деректерді жинау жүйесі сенсорлық сигналдарды жинайды және оларды лазерлік триггер сигналымен синхрондайды. Осы мақалада сипатталған әдістер qmmeltpool 3d балқытылған бассейнді бақылау жүйесі бар Concept Laser m2 машиналарында бағаланды, оған төмен сәулелік фотодиод пен CMOS камерасы, СОНДАЙ-ақ төмен сәулелік фотодиодты қамтитын ЭОСТАТТЫ балқытылған бассейнді бақылау жүйесі бар EOS m290 машиналары кіреді. осымен тыс фотодиод. Осы зерттеуде пайдаланылған M2 құрылғысы  $250 \times 250 \times 350$  мм<sup>3</sup> (x,y,z) құрастыру конвертінен тұрады, қуаты 400 Вт – қа дейінгі лазерлік жүйемен жабдықталған, сканерлеу жылдамдығы 7 м/с және қабаттардың қалыңдығын 20-дан 80-ге дейін қамтамасыз етеді.мкм. EOS m290 машинасында  $250 \times 250 \times 325$  мм<sup>3</sup> (x,y,z) құрастыру конверті бар, қабаттың қалыңдығы 100 мкм болатын 400 Вт Yb талшықты лазермен жабдықталған.

**Процесс ақауларын анықтау.** Бұл зерттеудің мақсаттарының бірі балқыма бассейнінің өтпелі әрекетін қалыпты емес технологиялық жағдайларды анықтау үшін қалай және қалай қолдануға болатынын зерттеу болды. "Машина конфигурациясы" бөлімінде сипатталғандай, қоспа машиналары құрастыру процесінде балқыма бассейнінің әрекетін бақылау үшін бірнеше сенсорлармен (фотодиодтар және/немесе камералар) жабдықталған. Балқыма бассейнінің реакциясын s датчиктерінен өлшенгендей қарастырамыз (мұндағы S машинадағы датчиктердің санын білдіреді). Лазерлік соққы лазер қосылған сәттен бастап лазер сөнгенге дейін лазер мен балқитын материалдың өзара әрекеттесуі және балқыма бассейнінің сәйкес шығарындылары ретінде анықталады. Лазерлік соққы лазер қосылған сәттен бастап лазер сөнгенге дейін лазер мен балқитын материалдың өзара әрекеттесуі және балқыма бассейнінің сәйкес шығарындылары ретінде анықталады. Әрбір лазерлік соққының басталуы сенсорлық сигналдарда анықталады, себебі деректерді жинау жүйесі сенсор өлшемдерін лазерлік триггер сигналымен синхрондайды. Сенсорлық сигналдарға лазер  $k = 1$  үлгісіндегі әрбір соққы үшін қосылған сәттен бастап сілтеме жасалады.  $K = kT$  дейінгі үлгілер өтпелі болып саналады, ал  $k > kT$  үлгілері тұрақты күйде болады. Параметр, кт, эвристикалық түрде таңдалды: бастапқы таңдау әр лазерлік соққыға процестің реакциясы әр түрлі технологиялық жағдайлар үшін тұрақты мәнге жақындаған кезде сапалы бағалауға негізделген. кт кейінірек нәтижелердің осы параметрге сезімталдығына, сондай-ақ есептеу ойларына байланысты итеративті түрде жетілдірілді. Эксперименттерде қолданылатын репрезентативті қондырғының схемасы сурет 1-де көрсетілген.



Сурет 1. Эксперименттерде қолданылатын репрезентативті қондырғының схемасы  
Фотодиод эмиссия спектрлерін бағалау үшін негізгі сенсор ретінде пайдаланылады (мұнда хабарланған нәтижелерде камера пайдаланылмаған).

Процестің ақауларын анықтау үшін біз бірнеше модельдік гипотеза сынағын (ММНТ) қолдандық, ол байес әдісі болып табылады, ол сенсорлық өлшемдерді қалыпты жағдайлардан ауытқуды көрсету үшін бірнеше алдын ала бағаланған модельдермен салыстырады. Қалыпты процестің моделі қажет, ал бір немесе бірнеше қалыпты емес процестердің модельдері міндетті емес. Біз мұнда модельдің белгілі бір формасын сипаттағанымызбен, рамка әр түрлі типтегі модельдер үшін тиімді. Әрбір үлгіде  $k = 1, 2, \dots$ ; және берілген процесс шарты үшін;  $s$  датчиктерінен алынған өлшемдер гаусстың кездейсоқ векторы ретінде модельденеді. Технологиялық модельдер жиынтығы (мысалы, лазерлік қуат деңгейіндегі әр түрлі ығысулары бар процестер) индекстеледі  $m = 1, 2, \dots, M$ . сенсорлық өлшемдер жиынтығының ықтималдығы  $x \in RS$  болып табылады.

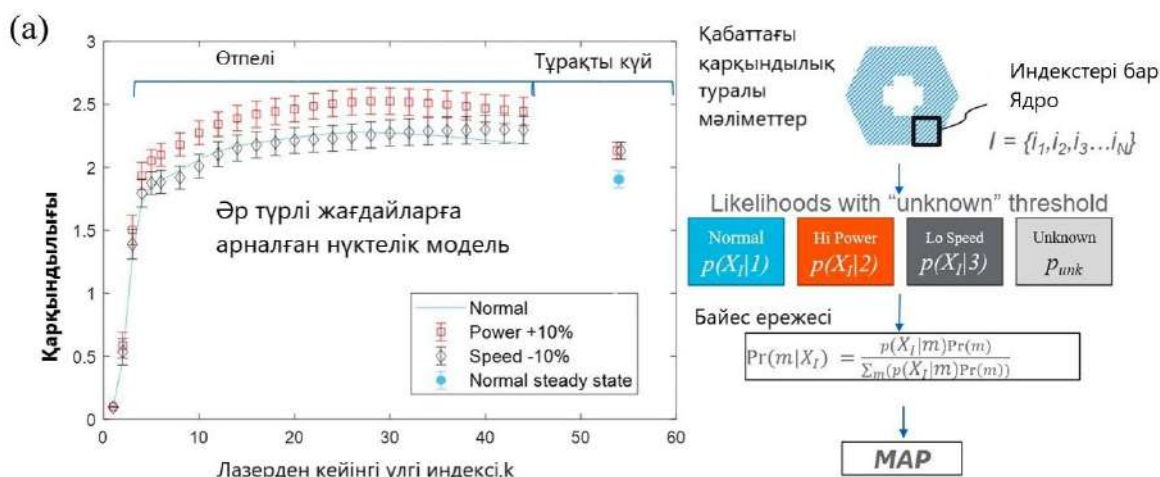
$$p(x|m, k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^S |\Sigma_k|}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x - \mu_k)^T \Sigma_k^{-1}(x - \mu_k)\right) \quad (1)$$

мұндағы коварианттық матрица,  $k$ , және орташа вектор,  $\mu_k$  үшін тұрақты болып табылады  $k > k_t$ . Бұл талдауда өлшеу үлгілерінің уақытқа тәуелді корреляциясы ескерілмейді. Егер мұндай корреляция ескерілсе, классификацияның жақсы көрсеткіштері мүмкін болуы мүмкін, бірақ бұл болжам нүктелерді кеңістіктік өлшемдерде ерікті түрде біріктіру үшін есептеу икемділігін жеңілдетеді.

Әрі қарай, біз ядроны кеңістікте немесе уақытта біріктірілген нүктелер жиыны бойынша анықтаймыз. Мен ядроны анықтайтын  $N$  индекстерінің жиынтығы болайын,  $AI \in RS \times N$  ядродағы индекстерге сәйкес Келетін  $S$  датчиктерінен алынған өлшемдер матрицасы болсын. Уақытқа негізделген тәуелсіздік туралы болжамға байланысты  $x_i$  ықтималдығын ерікті ядролар үшін оңай есептеуге болады. Бұл икемділік уақыт өте келе бір-біріне жақын жерде болмауы мүмкін өлшемдерді кеңістікте біріктіру мүмкіндігі үшін маңызды. Шаршы ядро Суреттің жоғарғы оң жағында суреттелген. 2а, осы квадрат ішіндегі өлшеу нүктелерінің жиынтығын анықтайтын индекстермен. Әрбір технологиялық модель үшін артқы ықтималдықты есептеу үшін Байес ережесін қолданамыз:

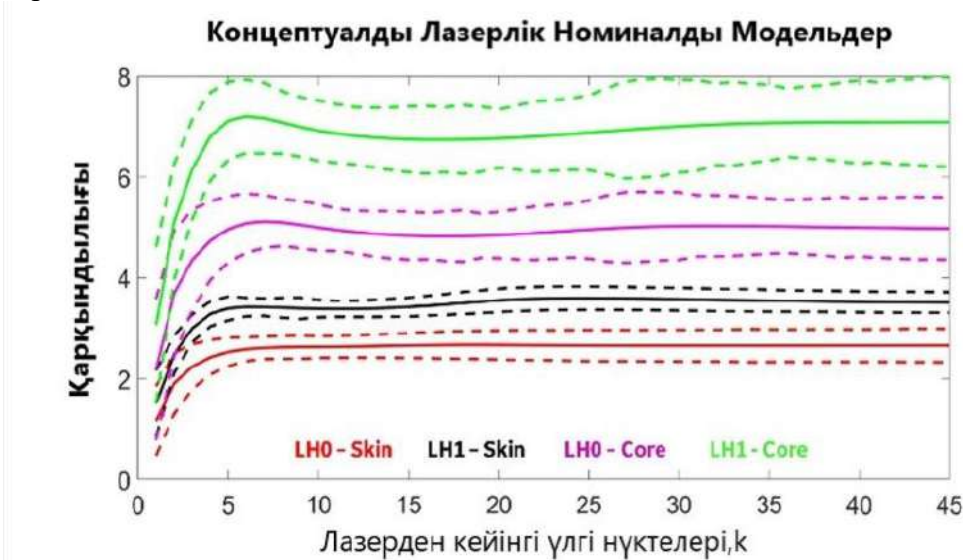
$$\Pr(m|X_I) = \frac{p(X_I|m)\Pr(m)}{\sum_{l=1}^{M+1}(p(X_I|l)-\Pr(l))} \quad (2)$$

мұндағы  $Pr(m)$  - ықтималдықтың алдыңғы моделі,  $m$  - ықтималдығы  $X_I$  болып табылады.



Сурет 2 (а). Лазерлік соққылар кезінде балқыма бассейнінің реакциясының нүктелік моделі

Лазерлік соққылар кезінде балқыма бассейнінің реакциясының нүктелік моделі Сурет 2 (а)-да көрсетілген. Осы модельді қолдана отырып, бірнеше модельдік гипотезаны тексеру. Суреттің сол жағында қалыпты процесс үшін осьтегі фотодиодтың нақты модельдері және ақаулардың репрезентативті процестері көрсетілген. Оң жағы бірнеше лазерлік соққылар бойынша нүктелерді біріктіретін төртбұрышты кеңістіктік ядроны бейнелейді. Содан кейін бұл тармақтар мәтінде сипатталғандай талданады.



Сурет 2. (b). Концептуалды Лазерлік деректерді талдауға арналған төрт номиналды модель

Тұтас сызықтар орташа қарқындылық модельдерін, ал үзік сызықтар бір стандартты ауытқу шектерін білдіреді Сурет 2. (b)-да көрсетілген.

$$p(X_I|m) = \prod_{n=1}^N p(x_n|m, k_n) \quad (3)$$

мұндағы  $x_n$ -XI-нің  $n$ -ші бағанасы, ал  $k_n$ -ядродағы  $n$ -ші үлгімен байланысты лазерлік қосу индексі. Біз сондай-ақ " белгісіз " ықтималдылықты енгіземіз,

$$p(X_I|M + 1) = p_{unk} \quad (4)$$

егер байланысты ықтималдық тым төмен болса, өлшемдерді қолданыстағы модельге жатқызуға жол бермеу үшін панкты таңдауға болады. Бұл зерттеуде панк гаусс үлестірілген айнымалысының орташа мәнінің орташа мәнінен (яғни 99% сенімділік интервалына сәйкес келетін) 2,3 стандартты ауытқу ықтималдығына тең деп таңдалды. болжамды стандартты ауытқу, орташа Есеппен  $S \times N$  өлшемдері бойынша. Стандартты ауытқу сигнал мен шудың шамамен арақатынасына негізделген және барлық технологиялық күйлерде салыстыруға болады деп есептеледі. Соңында, біз өлшемдерді ең жоғары артқы ықтималдығы бар модельге (немесе белгісізге) жатқызу үшін максималды а posteriori (MAP) шешім ережесін қолданамыз. 2а суретте ММНТ процесі көрсетілген. Суреттің сол жағында қалыпты процестің және репрезентативті ақаулы процестердің модельдерінің мысалы. Иллюстрацияны жеңілдету үшін тек ось бойынша фотодиодтық деректері бар бір өлшемді модель көрсетілген, маркерлер мен қателіктер жолақтары сәйкесінше үлгінің орташа және дисперсиясын білдіреді, әр үлгі уақыты үшін. Оң жағы агрессивті квадрат кеңістіктік ядроны бейнелейді, гейтс бірнеше лазерлік соққыларды көрсетеді. Содан кейін бұл нүктелер жинақталып, бұрын сипатталғандай талданады.

Бастапқы эксперименттер eos M290 жүйесінде жүргізілді, оның көмегімен люкті сканерлеу стратегиясы үшін төменгі сәулелік фотодиод сенсорынан және 60 кгц жиіліктегі осьтен тыс фотодиодтан өлшемдер алынды. Шикі өлшеулер машинаға тән оптикалық артефактілерге байланысты құрастыру тақтасының аймағындағы тұрақты тенденцияларды жою үшін қалыпқа келтірілді. Содан кейін екі сенсордан алынған өлшемдер векторға біріктірілді (яғни,  $S = 2$  Eq. (1)). Әрбір үлгі уақытындағы екі сенсорға арналған орташа векторлық және коварианттық матрица әдеттегі процесті және лазер қуаты, сканерлеу жылдамдығы немесе люк аралығы әртүрлі қадамдармен жылжытылатын процестер сериясын қоса алғанда, репрезентативті оқу құрылымдарынан қарқындылық өлшемдерін құрастыру арқылы бағаланды. Бұл құрылыстардағы бөліктерге тесіктер, жұқа қабырғалар және өткір бұрыштар сияқты әртүрлі геометриялар кірді.

Соңында, алгоритмнің қалыпты процестен ауытқуларды дәл жіктеу қабілетін тексеру үшін процесс параметрлерінің әртүрлі өзгерістері бар тексеру жинақтары іске қосылды. Сонымен қатар, локализацияланған технологиялық ауытқуларды анықтауды бағалау үшін газ ағыныныңмешысуы және оптиканың зақымдануы байқалған жинақтар қарастырылды. Технологиялық процесс өзгерген кезде оқыту және тексеру жинақтары бір компьютерде жасалды. Оптикалық ақаулар болған жағдайда, деректер нақты өндірістік жағдайлардан алынды, сондықтан оқыту және тексеру бір құрылыстың әртүрлі деңгейлерінде орындалды.

Ақаулықтарды анықтау процесін талдауға арналған алғашқы эксперименттер EOS машиналарын қолдану арқылы жүргізілгеніне қарамастан, кейінірек талдау кеңейтіліп, шектеулі көлемде M2 тұжырымдамалық Лазерлік (CL) машиналарын қамтыды. Бұл талдауда қолданылатын құрастырулардың әдепкі сканерлеу стратегиясы бөлікті сыртқы және ішкі бөліктерге бөлу болды. Олар бірге EOS жүйесінде штрихталған деп белгіленген бөлік аймақтарын қамтиды. Біздің талдауымыздың мақсаты люкті сканерлеу стратегиясына назар аудару болды, өйткені бөлшектердің көпшілігі осындай жағдайларда өңделеді. Concept Laser параметрлері жиынтығының номиналды шарттарын жіктеу үшін, осьтік фотодиодты қолдана отырып жасалған модельдер үшін әр сканерлеу параметрі үшін бір сканерлеу басы (skin / core): LH0—Skin, LH0—Core, LH1—Skin және lh1—core (сурет. 2b). Параметрлердің негізгі жиынтығы тері параметрлерінің жиынтығына қарағанда лазердің жоғары қуатын және дақтың үлкен мөлшерін анықтайды. Бұл талдаудың мақсаты әртүрлі параметрлер жиынтығымен жасалған бөлшектерді жіктеу үшін nominal cl модельдерімен бөлшектелген

ядроны сол МНТ құрылымына сәйкес пайдалану болды. Айта кету керек, іс жүзінде барлық төрт параметрлер жиынтығы "қалыпты" болып саналады, бірақ бұл зерттеуде олар процестің әртүрлі күйлерінің жіктелуін көрсету үшін пайдаланылды.

Бөлшектің сапасын болжау. Технологиялық ауытқулардың белгілерін көрсетуден басқа, балқытылған ваннаның әрекеті бөліктің соңғы сапасымен тығыз байланысты. Балқытылған ваннаның реакциясында кеуектіліктің, балқымаудың және жарықтардың пайда болуына әкелетін технологиялық процестен ауытқуларды байқауға болады. Мұнда біз сенсорлық деректер мен соц-ден жасалған типтік түйреуіштердің оптикалық микрографтарында өлшенген әртүрлі материал ақауларының ауырлық дәрежесі арасындағы байланысты болжау үшін статистикалық модель әзірлейміз. Concept Laser M2 машинасында монтаждау тақтасына бірнеше қатты түйреуіштер орнатылды, олар өңделетін дақтың қуатын, жылдамдығын және өлшемін номиналды мәндермен салыстырғанда өзгертуге мүмкіндік береді жоғары және кіші ақауларға еліктеу үшін 50% дейін шығындар. және төмен энергия тығыздығы. Төмен энергия тығыздығы балқудың болмауына әкеледі, ал жоғары энергия тығыздығы қайнаған кезде кеуектіліктің пайда болуына әкеледі. Жарықтар әдетте балқыманы тез салқындату арқылы пайда болады.

Ақаулар мен бақыланатын процесс параметрлері арасындағы қатынастың бұл күтілетін сипаты регрессиялық модельдегі сипаттамаларды таңдау арқылы ескеріледі, олардың кейбіреулері лазерлік бақылау параметрлерін қамтиды:

$$D_{defect} = g(p, s, f, h, \mu_{part}, \sigma_{part}, \sigma_{layer}) \quad (5)$$

мұндағы Dдефект-бұл бөлікті кесу кезінде алынған оптикалық микрография, бөліктің компьютерлік томографиясы немесе бөлікті физикалық сынау арқылы алуға болатын ақаудың осы түрінің ауданының үлесі. Содан кейін әр типтегі ақауларды бағалау көлденең қимадағы ақаулардың белгілі бір класына жататын жалпы ауданның көрсетілген көлденең қимадағы жалпы ауданға қатынасы негізінде есептеледі. Лазердің параметрлері құрастыру процесінің басында орнатылады: p-қуат, s-жылдамдық, f - фокус, p/s - сызықтық энергия тығыздығы, ал h - соққылар арасындағы қашықтық. Сенсор деректері бөлік деңгейінің айнымалыларына біріктіріледі:  $\mu_{part}$ -бұл бөлшектердің орташа қарқындылығы,  $\sigma_{part}$ -орташа қарқындылықтың стандартты ауытқуы, ал  $\sigma_{layer}$ -қабаттардың орташа қарқындылығының стандартты ауытқуы. Беру функциясы (теңдеу. 5) ақаулардың әрқайсысы үшін ең кіші квадраттар (МНК) әдісімен кадамдық оңтайландыру арқылы алынды. Коллинеарлықтың болуын ескере отырып, біз модельдің маңызды ерекшеліктерін анықтау үшін кадамдық МНК оңтайландыруды қолдану кезінде дисперсияның жоғарылау коэффициентін шектедік.

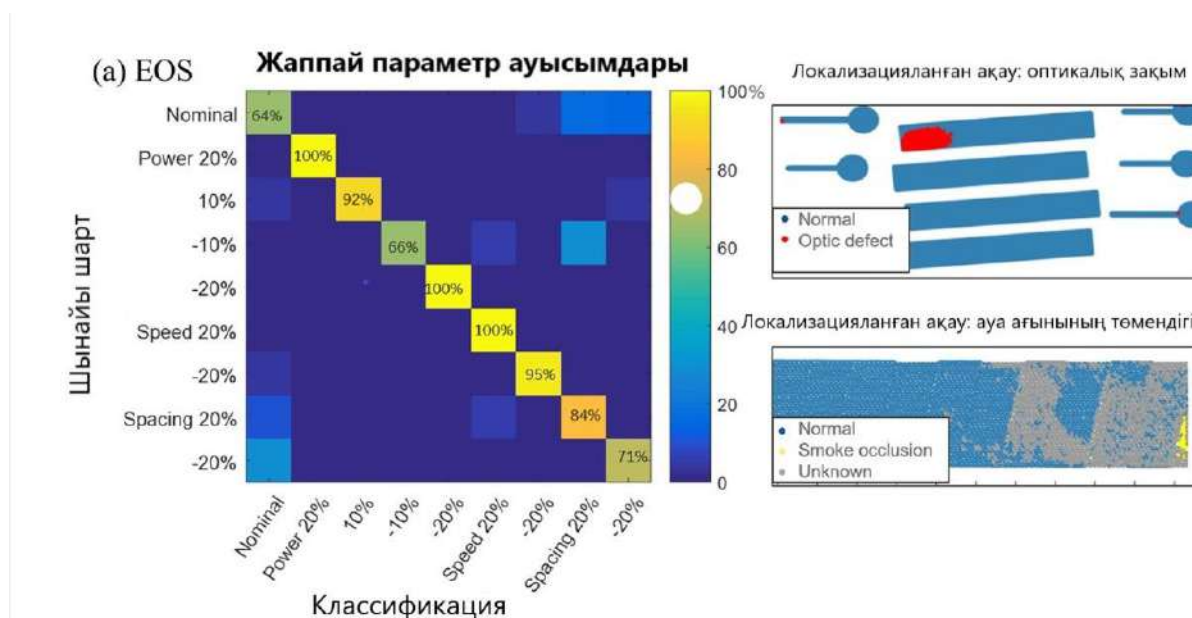
#### **Нәтижелер мен талқылау.**

Технологиялық ақауларды анықтау. Біз балқытылған ваннаның өтпелі сипаттамасы айырмашылықтар туралы қалыптасқанға қарағанда дәлірек ақпарат беретінін анықтадық. Мұны күріштен көруге болады. 2а, мұнда 10% жоғары қуаттылықпен орнатылған кезде балқыманың пайда болуының тұрақты қарқындылығы 10% төмен жылдамдықпен орнатылған қарқындылықпен сәйкес келеді, ал бұл өзгерістерге өтпелі реакциялар әртүрлі болды. 45 үлгінің таңдалған өтпелі ұзақтығы жоғары жіктеу тиімділігін көрсетті, сонымен қатар есептеу жүктемесін теңестірді.

Көлемдік параметрлердің өзгеруін талдау (лазерлік Қуат, жылдамдық және соққылар арасындағы қашықтық) қабаттағы барлық нүктелерді бекітетін ядро көмегімен жүргізілді. Әр жағынан 0,39 мм-ге реттелген квадрат кеңістіктік ядро оптикалық зақымдану және газды аз тұтынумен байланысты артефактілер сияқты локализацияланған технологиялық ауытқуларды анықтау үшін пайдаланылды. Бұл ядро өлшемі жіктеу дәлдігі мен ажыратымдылығын теңестіретін етіп реттелген.

3(а)-суретте EOS m290 үшін жіктеу нәтижелері оқу құрастыруларынан ерекшеленетін тексеру құрастыруларындағы деректердегі параметрлердің жаппай өзгеруі үшін көрсетілген.

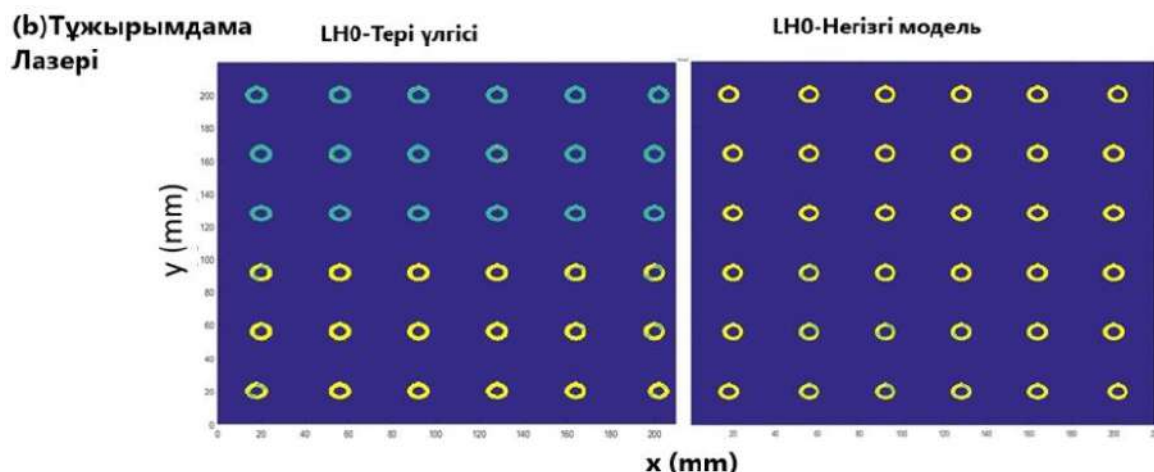
Қосымша сәтсіздік режимдерін қамтитын кеңейтілген модельдер жиынтығы үшін жіктеу дәлдігіне қатыстыромаға келу бар. Басқаша айтқанда, үміткер процестердің модельдері неғұрлым көп болса, олардың шығу сипаттамаларын шатастыру мүмкіндігі соғұрлым көп болады. Көбінесе соққылар мен әдеттегі процесс арасындағы офсеттік интервалы бар процестер арасында шатасулар болды, бұл параметрлердің өзгеруіне балқыманың салыстырмалы сезімталдығын көрсетеді. Люктер арасындағы үлкен қашықтық пен аз қуат арасында тағы бір елеулі шатасулар пайда болды, бұл жіктеуді жақсарту үшін модельге қосылуы мүмкін жылу әсерін көрсетеді. Нәтижелерді жақсарту үшін люктер арасындағы аралықты алып тастаған дұрыс болар еді, өйткені бұл құрастыру стратегиясымен анықталған параметр, ол процесс барысында әрең өзгереді және құрастыру процесін бастамас бұрын оны басқа жолдармен тексеруге болады.



Сурет 3(а) . EOS M290-да МНТ көмегімен технологиялық эффектiлердi жiктеу

Жоғарғы оң жақ бұрыштағы сурет 3(а) өндіріс жағдайында пайда болатын нақты оптикалық ақаудың анықталуын көрсетеді. Бұл қалыптан тыс жағдайдың белгілері айтарлықтай байқалды, сондықтан ақаудың жергілікті жіктелуі анық болды. Суреттегі төменгі оң жақ суретте. 3А газды аз тұтынудан туындаған ауытқуларды, соның ішінде модельденбеген мінез-құлықтың белгісіз классификацияларын көрсетеді. Төмен газ ағыны ақауының моделі сенсордың деректер аймақтарында өңделді, олар лазер сәулесінің түтінмен жабылуына байланысты деп саналады. Алайда, қашан жіктеу алгоритмі нәтижесінде басқа қалыптан тыс жағдайдың кең аймақтары анықталды. Бұл "белгісіз" модельдің қалыптан тыс жағдайларды анықтаудағы пайдалылығын көрсетеді, тіпті егер бұл жағдайдың нақты моделі болмаса да.

45° сызық бойындағы нүктелердің жоғары концентрациясы жоғары өнімділікті көрсетеді. Сол жақта параметрлердің жаппай өзгеруіне арналған шатасу матрицасы бар. Оң жақта локализацияланған ақауларды анықтау мысалдары келтірілген.

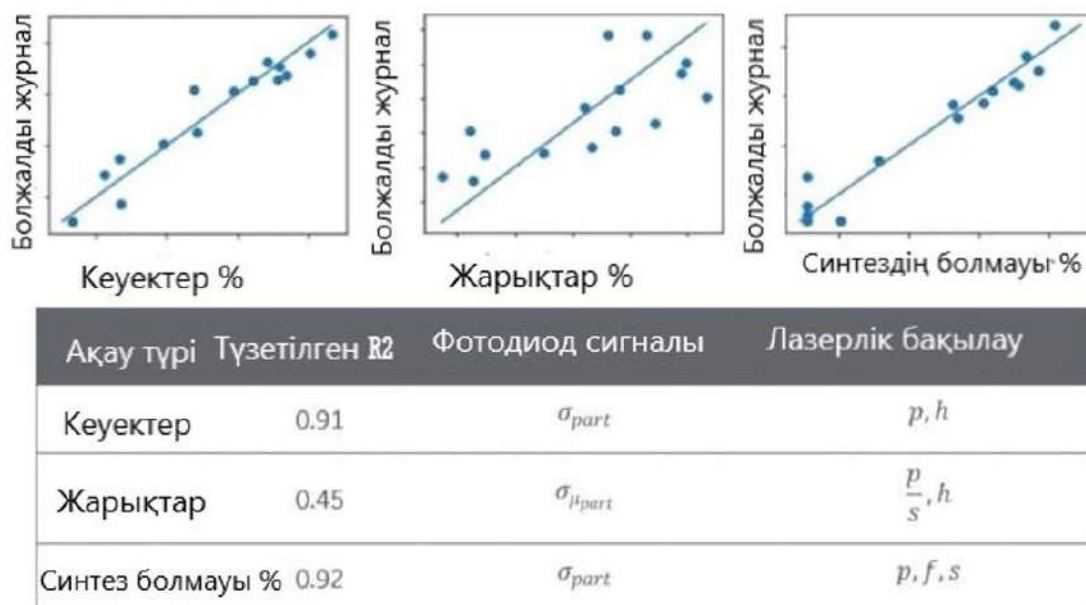


Сурет 3 (b). concept Laser M2-де ММНТ көмегімен технологиялық ауысулардың жіктелуі

3(b)-суретте concept Laser M2 машинасында жүргізілген шектеулі талдау нәтижелері көрсетілген. Бірдей ММНТ құрылымын қолдана отырып, біз сканерлеу басы мен құрастыру параметрлерінің тіркесімі негізінде жасалған модельдер бір сканерлеу басы мен әртүрлі құрастыру параметрлері арқылы жасалған бөлшектерді өте сәтті жіктейтінін көрсетіледі. Мысалы, LN0-Skin моделі LN0 және Skin параметрлерімен жасалған барлық бөлшектерді шынайы оң деп дұрыс жіктейді, ал дәл сол бөлшектер LN0-Core моделін қолдана отырып талдау кезінде шынайы теріс деп жіктелген.

Ұсынылған ақауларды анықтау әдістемесі құрастыру кезінде бақылау процесінің үздіксіз диагностикасын қамтамасыз ете отырып, қабатты цикл кезінде талдауды аяқтау үшін есептеу тұрғысынан оңтайландырылды. Графикте 36 цилиндрлі дизайн қабатынан былғары кесінділері көрсетілген. 0 лазерлік басымен жасалған бөлшектердің жоғарғы 3 қатары Lh0-skin моделі бойынша дұрыс жіктелді (жасыл, сол жақтағы сызбалар), ал LN0—Core моделі бойынша олар белгісіз (сары) (оң жақтағы сурет) ретінде жіктелді. 20 қабат бойынша біріктірілген жіктеу нәтижелері келтірілген. Екі параметр жиынтығы бар құрылымдардың модельдері (қабық және ядро) тиісті параметрлер жиынтығымен жасалған бөлшектерді жоғары дәлдікпен (>90%) дұрыс жіктейді.

Бөлшектердің сапасын болжау. Бұрын айтылғандай, бұл зерттеу үшін жаттығу үлгілері стандартты оптикалық микрографтарда көрсетілгендей, ауданның пайызымен анықталған әртүрлі ақаулық дәрежесі бар бөлшектерді алу үшін әртүрлі параметрленуімен ауысулары бар түйреуіштерді пайдаланды. Үлгілердің микрографтары стандартты micro CT модулі жасаған STL файлынан көлденең қимадағы кескіннен алынған. Көлденең қимадағы кескіндер кеуектерді, жарықтар мен балқу ақауларын анықтау және олардың өлшемдерін микрондық ажыратымдылыққа жеткізу үшін патенттелген кескінді өңдеу алгоритмін пайдаланады.



Сурет 4. Әр түрлі ақауларын болжаушының өнімділігі

4-суретте сәйкес регрессиялық модельдердің сәйкестігі көрсетілген және олардың әрқайсысы үшін маңызды факторлар келтірілген. Кеуектердің болжамдары және бірігудің болмауы салыстырмалы түрде жоғары R-квадрат мәніне ие болды, бұл модельдің жақсы сәйкестігінің көрсеткіші. Екінші жағынан, жарықтардың пайда болуын болжау қиынырақ болды, өйткені біздің модельдер негізінен CoCr-дан жасалған бөлшектерде сыналды, бұл материал әдетте жарылуға бейім емес. Барлық ақаулар үшін болжамды факторлар фотодиод сигналының сипаттамаларында да, лазерді басқарудың белгілі бір параметрлерінде де болды. Бөлшектердің сапалық болжамдары құрастыру соңында бөліктер бойынша талданды.

**Қорытынды.** Біз екі коммерциялық DMLM машинасында қол жетімді процестерді бақылау пакеттерін пайдаланатын *in situ* аналитикасын сәтті енгіздік. EOS жүйесіндегі бір эксперимент барысында технологиялық ақауларды анықтау жүйесі көлемдік процесс параметрлеріндегі 10-20% ауытқуларды жоюға және миллиметрге дейінгі дәлдікпен басқа локализацияланған ақауларды анықтауға мүмкіндік берді, осының барлығы қабаттық цикл кезінде. Бұған әр соққының басында лазерді қосқаннан кейін микросекундтар ішінде балқытылған ваннаның өтпелі сипаттамасынан ажырататын ақпаратты алу арқылы қол жеткізілді. Бұл әдісті одан әрі жетілдірудің бірнеше мүмкіндігі бар. Біріншіден, "технологиялық қателерді анықтау" бөлімінде сипатталғандай, соққылар арасындағы қашықтықты өзгерту үлгілерін жою арқылы жіктеу тиімділігін жақсартуға болады. Екіншіден, сенсордың бастапқы өлшемдерін қалыпқа келтіру оптикалық бұрмаланумен байланысты өрескел тенденцияларды тиімді түрде жойғанымен, сенсорлық өлшеулерде жүйенің ажыратымдылығын шектейтін қосымша жүйелі ауытқулар байқалды.

Ағымдағы жұмыс осы өзгерістерді түсінуге және сенсорлық сигналдарды салыстыруға болатын параметрлік болжамды модельдерді құруға бағытталған. Үшіншіден, "өтпелі процестің" берілген ұзақтығын неғұрлым жүйелі таңдау негізінде сипаттамаларды жақсарту мүмкіндігі бар (параметрмен анықталады, КТ). Соңында, CMOS камерасы сияқты басқа қол жетімді сенсорлардың сигналдарын concept Laser лазерлік жүйесіне қосу процесс қолтаңбасын тану тиімділігін арттыруы мүмкін.

Төмендегі қадамдар мұнда сипатталған зерттеудің кейбір шектеулерін жояды. Shift көлемдік параметрінің анықтамасы құрастыру шеңберінде әртүрлі геометриялық параметрлерді қамтитын құрастыруда сыналды, бірақ жаттығу және тексеру құрастыруларында бірдей элементтер болды. Жаттығу құрастыруы бағаланатын

құрастырудан геометриясы бойынша ерекшеленетін кезде жіктеудің тиімділігін сипаттау үшін қосымша зерттеулер қажет. Сонымен қатар, параметрлердің жаппай ауысу сынағынан айырмашылығы, локализацияланған ауытқулар барлық қол жетімді үміткер модельдермен бірге бағаланбады. Локализацияланған ақауларды анықтау әдістерін жүйелі түрде зерттеу ұсынылады. Жергілікті ақауларға қатысты негізгі мәселе-олармен байланысты технологиялық жағдайларды сенімді модельдерді оқыту үшін бақылау қиынырақ болады.

Бұл екінші зерттеу нәтижелері белгілі бір ауырлық деңгейіндегі ақаулар үшін кіріс параметрлерінің өзгеруі оптикалық микрофотографиялық талдаудың көп уақытты қажет ететін әдісін қолданбай бөлшектердің сапасын сәтті болжауға мүмкіндік беретін Тұжырымдаманың расталуын көрсетеді. Бұған сенсорлық сигналдардан да, машинаны басқару параметрлерінен де алынған тиісті сипаттамаларды таңдау арқылы қол жеткізілді. Бұл зерттеудің көлемі тек CoCr-мен шектелді. Қарастырылған шектеулерге қарамастан, нәтижелер сенсор деректерін стандартты процестерді модельдеу және орнында технологиялық өзгерістерді анықтау үшін пайдалануға болатынын көрсетеді; және фотодиодтағы сенсор деректері мен дайын материал ақауларының ауырлығы арасында жоғары корреляция бар екенін көрсетеді. Мұндай ерте бұзбайтын диагностика шығындарды азайтуға мүмкіндік береді және тиісті тексерумен сапа көрсеткіші бола алады.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тулебаев, М. Б., & Баймурзаев, А. Т. (2022). Металл және қорытпаларды селективті лазерлік балқыту процестерін модельдеу. Инженерлік ғылымдар мен технологиялар журналы, 18(4), 59-68.
2. Султанбеков, С. А., & Жайлауов, Н. С. (2022). Селективті лазерлік балқыту кезінде порошоктық материалдардың микроструктурасына лазерлік әсер ету параметрлерінің әсері. Материалдар және технологиялар, 13(2), 112-120.
3. Абдрашитова, Д. И., & Аяпов, К. Т. (2023). Селективті лазерлік балқыту кезінде термодинамикалық процестерді модельдеуде сандық әдістердің қолданылуы. Техникалық ғылымдар мен инновациялар, 17(3), 101-109.
4. Сарсенов, М. Т., & Каратаев, Д. Н. (2022). Металл порошоктарын лазерлік балқыту процесінде температураның модельдеу. Ғылыми зерттеулер және технологиялар, 20(5), 76-84.
5. Абдрахманов, А. Е., & Махмудов, К. С. (2022). Селективті лазерлік балқыту үшін материалдардың жылу-физикалық сипаттамалары. Материалтану және технологиялар журналы, 21(1), 45-52.
6. Досмагамбетов, А. М., & Ермаханбетова, Ж. Х. (2023). Қиындықсыз элементтер әдісімен лазерлі балқыту процестерін модельдеудің методологиясы. Қазақ инженерлік ғылымдары мен технологиялары журналы, 18(2), 35-42.
7. Турсунов, Д. С., & Бекмурзаев, М. Ш. (2023). Титан порошоктарын селективті лазерлі балқыту процесінде термодинамикалық процестерді модельдеу. Машина жасаудағы инновациялық технологиялар, 16(4), 88-96.
8. Кенжебаев, А. Р., & Бекмурзаева, Ж. А. (2022). Селективті лазерлі балқыту үшін металл порошоктарының жылу-физикалық қасиеттерін зерттеу. Жаңа материалдар мен технологиялар, 14(3), 112-120.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-27-29

УДК 621

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ПРОКАТА НА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦАХ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

ЛЕВЧЕНКО ИЛЬЯ ВЛАДИСЛАВОВИЧ

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

СИВЯКОВА ГАЛИНА АЛЕКСАНДРОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены современные подходы к автоматизации процесса резки проката на летучих ножницах стана горячей прокатки. Приведён обзор теоретических и практических решений, включающих системы точного управления приводами и алгоритмы синхронизации реза с движущейся полосой. Анализируются системы адаптивного управления и интеграции летучих ножниц в общую архитектуру автоматизации прокатного стана (АСУ ТП). Особое внимание уделено промышленным примерам внедрения и результатам, достигнутым при модернизации существующих станков и внедрении нового оборудования. Сделаны выводы о тенденциях дальнейшего развития автоматизации летучих ножниц и их роли в повышении эффективности и конкурентоспособности прокатного производства.

**Ключевые слова.** автоматизация; летучие ножницы; горячая прокатка; система управления; синхронизация движения; адаптивное управление; АСУ ТП; точность резки.

**Актуальность темы.** Летучие ножницы являются одним из ключевых узлов в технологической линии горячей прокатки. От их работы зависят точность и чистота обрезки головных и хвостовых концов полосы, а также формирование мерных длин при высоких скоростях прокатки. Современные требования к прокатным производствам включают увеличение скорости прокатки и снижение простоев; точную обрезку сокращающая потерю металла и улучшает ровность торцов полосы; минимизацию аварийных остановок и продление межремонтных интервалов; интеграцию с общими системами управления в рамках цифровизации металлургического производства[1,2].

Автоматизация летучих ножниц позволяет достичь всех этих целей, обеспечивая точную синхронизацию реза с движущейся полосой; адаптивное управление, подстраивающееся под изменения скорости, толщины и марки прокатываемого металла; своевременную диагностику и быструю переналадку на разные режимы работы [3].

Внедрение подобных систем непосредственно отражается на экономических показателях прокатного цеха, снижая металлоёмкость производства и улучшая качество выпускаемой продукции.

**Методы и материалы исследования.** Исследование основано на анализе научно-технической литературы, патентов, а также данных от ведущих производителей прокатного оборудования (Primetals, Danieli, SMS group и др.)[1-3]. Использовались методы обзора открытых публикаций (научные статьи, технические отчёты), посвящённых теории и практике автоматизации летучих ножниц; анализ патентных решений за последние 10 лет, отражающих современные тенденции в области регулирования и конструкции летучих ножниц; сравнительный анализ коммерческих предложений и опыта промышленной эксплуатации автоматизированных систем на горячих широкополосных станах; анализ результатов реальной модернизации станков горячей прокатки с переходом на современные системы автоматизации приводов и управления летучими ножницами.

Исходные данные обобщены с целью выявления основных элементов автоматизации процесса резки, алгоритмов управления приводами и конструктивных инноваций.

*Результаты и обсуждение.* В основе автоматизированного управления летучими ножницами лежит задача синхронизации движения ножа с движущейся полосой [4]. Критически важно, чтобы в момент реза окружная скорость резака совпадала со скоростью полосы, а положение лезвия соответствовало заданной точке реза. Традиционно для этого применялась схема «электронный кулачок», реализованная через высокоточный контроллер (например, Siemens SIMOTION, SIMATIC TDC или аналоги) [5-7]. В последние годы такие контроллеры дополняются системами адаптивной подстройки параметров (скорость ножа, угол поворота, крутящий момент), чтобы компенсировать изменения толщины и марки стали, а также колебания скорости прокатки; механизмами самодиагностики и прогнозирования износа режущей кромки, основанными на измерении момента сопротивления резу [5,7]. Наряду с классическими решениями, активно исследуются и внедряются системы машинного зрения для точной фиксации момента, когда необходимо произвести рез. Подобные технологии позволяют исключить накопление ошибок из-за сбоя в энкодерах привода или изменения натяжения полосы; уменьшить зависимость от ручных корректировок оператора, автоматически определяя необходимую точку обрезки.

*Патентные и технические разработки.* За последние 10 лет в патентной базе появились решения, нацеленные на дальнейшее повышение точности и стабильности процесса резки [8]. Ключевые направления оптимизация профиля движения ножа – выбор полиномиальной траектории (4–5-й степени) для уменьшения вибраций и динамических нагрузок; адаптация скорости вращения в реальном времени, учитывая отклики датчиков полосы и двигателя ножниц; применение зрительных датчиков (патенты Китая CN105171115A, CN105382331A и др.), позволяющих контролировать фактическое положение переднего конца полосы или дефектной зоны для вырезки без участия оператора; модульные конструкции ножниц (каССеты), упрощающие обслуживание и замену режущих кромок, что сокращает простой прокатного стана при ремонтах [4,7].

*Автоматизация от ведущих производителей оборудования.* Primetals (Siemens/Mitsubishi) реализует в своих ножницах концепцию электронного кулачка, а также алгоритмы Crop Optimization (оптимизация обрезки голов/хвостов) на уровне L2 систем [2]. Отдельное внимание уделяется дифференциальному вращению барабанов, что снижает ударные нагрузки. Danieli продвигает комплексные решения Q-CROP, обеспечивающие быструю смену ножей и автоматическую настройку зазора [3]. Упор сделан на непрерывное взаимодействие с системой Level 2, что даёт высокую точность реза при разных скоростях. SMS group предлагает высокопроизводительные системы для горячей прокатки с акцентом на надёжность и работу с широким сортаментом [1]. Применяется полноценная цифровая платформа, позволяющая оперативно корректировать алгоритмы управления на основе данных с прокатных датчиков.

В целом, у всех компаний решение базируется на высокоточных приводах с цифровыми системами управления, способных работать на больших скоростях (10–20 м/с) без потери качества резки [9]. Интеграция с АСУ ТП стана обеспечивает передачу данных о скорости и параметрах прокатки в реальном времени.

*Промышленные примеры внедрения.* Endless Strip Production (ESP) от Primetals система непрерывной прокатки, где автоматизация летучих ножниц позволяет резать полосу на высоких скоростях без замедления стана [9]. Успешно реализовано в Италии, Китае и на других предприятиях. Модернизация стана 2000 (ПАО «Северсталь»): внедрение усовершенствованных барабанных ножниц (производства НКМЗ) совместно с обновлённой системой управления на базе Siemens [10]. Достигнуто повышение точности реза и снижение потерь металла. Линии с системами машинного зрения (Китай): BaoSteel, Shougang и др. экспериментируют с высокоскоростными камерами, полностью автоматизируя процесс

обрезки концов полос и дефектных участков; точность и адаптивность при этом существенно возрастают.

*Преимущества и перспективы развития.* Автоматизация летучих ножниц даёт комплексные выгоды: повышение качества проката за счёт чёткого соблюдения заданной длины и ровности реза. Снижение затрат благодаря уменьшению объёмов обрезков и сокращению продолжительности простоев при настройке. Повышение безопасности: снижается влияние человеческого фактора, операторы меньше вмешиваются в процесс на высокоскоростных этапах прокатки. Возможность интеграции с интеллектуальными системами, анализирующими состояние и предсказывающими потенциальные сбои.

В перспективе ожидается распространение кибер-физических систем, включающих датчики силы, машинное зрение, алгоритмы искусственного интеллекта. Это позволит ещё точнее контролировать каждый рез, формировать оптимальные траектории движения ножа под текущую марку стали и строить прогнозные модели износа оборудования. Кроме того, ожидается развитие «умных» приводов с возможностью децентрализованного управления, что ещё больше сократит время реакции системы на перепады скорости прокатки.

*Заключение.* Процесс резки проката на летучих ножницах является одним из важных этапов в горячей прокатке, определяя качество и себестоимость конечного продукта. Современные достижения в области автоматизации позволяют существенно улучшить точность реза, снизить износ оборудования и повысить производительность стана. Инновационные решения, разрабатываемые лидерами отрасли, находят применение как при строительстве новых станов, так и при модернизации существующих. Тенденция к цифровизации прокатного производства обещает дальнейшее развитие интеллектуальных алгоритмов управления, более широкое использование систем машинного зрения и предиктивной диагностики. В результате автоматизация летучих ножниц обеспечивает не только улучшение технологических показателей, но и рост экономической эффективности металлургических предприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. SMS group – High-performance Hot Strip Mills – Shearing Solutions. Company portfolio, 2020.
2. Primetals Technologies – Crop Shear Technology for Hot Strip Mills. Technical brochure, 2019.
3. Danieli – Q-CROP and HS-Coiling Systems. Technical overview, 2018.
4. CN105382331A – Flying shear control method. Dalian Huayelian Automation Co., 2016
5. Zhang X. et al. Optimizing Design of Control System for Flying Shear in Tandem Cold Rolling Line. Proc. ICETA 2016 (DEStech Transactions), 2017.
6. Bi J. et al. Reliability Design of an Electronic Cam Curve for Flying Shear Machine in Short Materials Cutting. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), 25(2020), pp.246–252.
7. CN105171115A – Flying shear control system and method based on machine vision. Beijing Bestpower Electrical Tech., 2015.
8. Дипломный проект – Модернизация барабанных летучих ножниц стана 2000 НЛМК, 2020.
9. Endless Strip Production (ESP) – Primetals Technologies. Company press release, 2018.
10. Гриценко С.А. и др. Совершенствование летучих ножниц для резки плоского проката на мерные длины. Труды [НКМЗ / Северсталь], 2017.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-30-36

УДК 621

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ

**ЛЕВЧЕНКО ИЛЬЯ ВЛАДИСЛАВОВИЧ**

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

**БАТЫРБЕК ЭЛИБЕК ЕСІМБЕКҰЛЫ**

Докторант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау,  
Казахстан

**ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА**

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

---

**Аннотация.** В статье рассматривается система автоматизации процесса резки проката с использованием летучих ножниц. Описаны основные элементы такой системы: мехатронная конструкция ножниц, системы приводов и датчиков, а также программно-алгоритмические средства управления. Особое внимание уделено обеспечению синхронной работы ножниц с движущейся полосой, использованию современных подходов (нечеткие регуляторы, нейронные сети, методы предиктивного управления) и интеграции с концепцией цифровых двойников для оптимизации процесса. Показано, что внедрение интеллектуальных систем управления и высокоточных сенсоров позволяет значительно повысить точность и стабильность реза, а также снизить энергопотребление и производственные затраты.

**Ключевые слова:** автоматизация резки, летучие ножницы, горячая прокатка, система управления, синхронизация, мехатронные системы, нечеткое управление, нейронные сети, предиктивное управление, цифровые двойники.

---

Летучие ножницы – это механизм, позволяющий разрезать движущийся прокат на заданную длину без остановки технологической линии. В станах горячей прокатки летучие ножницы обычно применяются для отрезки концов полосы (очистка от бракованных участков) и разделения непрерывного проката на мерные длины. Автоматизация этого процесса критически важна для обеспечения непрерывности производства, повышения точности реза и снижения потерь металла.

Современные системы управления летучими ножницами позволяют синхронизировать движение ножа с скоростью проката, добиваясь прецизионного реза на лету, что напрямую влияет на качество продукции и экономическую эффективность (уменьшение отходов, экономия энергии и повышение надежности оборудования) [1-3].

Одно из ключевых направлений – разработка оптимальных алгоритмов управления положением ножниц при движущейся цели (прокате). Еще в классических работах предлагались системы оптимального позиционирования, минимизирующие необходимый крутящий момент привода и автоматически подбирающие комбинацию длин резки для сокращения отходов.

Такие алгоритмы обеспечивают плавный разгон/торможение каретки и высокую точность реза даже при переходе между дискретным режимом резки отдельных заготовок и непрерывным режимом резки в линиях непрерывного производства.

На основе этих идей развиваются методы прогнозирующего управления и robust-регуляторы, позволяющие учитывать упреждающе изменение скорости проката и других параметров. Например, метод обобщенного прогнозирующего управления (GPC) успешно

применялся для позиционирования ножниц, продемонстрировав высокую робастность и точность регулирования в реальном времени[4].

Другой современный тренд – внедрение технологий искусственного интеллекта для адаптации системы управления к нелинейным и переменным условиям резки. Классические ПИД-регуляторы не всегда справляются при существенной нелинейности и неопределенности параметров системы [5].

Для решения этой проблемы применяются адаптивные алгоритмы на основе нечёткой логики и нейронных сетей. В частности, разработаны самонастраивающиеся нечеткие ПИД-регуляторы, которые автоматически подстраивают параметры в зависимости от условий резки. Моделирование системы резки труб с таким регулятором показало ускорение переходных процессов и повышение устойчивости и точности реза по сравнению с традиционным ПИД-регулятором [5,6].

Аналогично, для компенсации неточных математических моделей процесса резки используется обучение нейронных сетей. Например, модель на основе обратного распространения (BP) нейросети успешно идентифицирует сложные нелинейности процесса и корректирует управление ножницами. В симуляциях такая система добилась точности реза  $\pm 2$  мм в 89% случаев при времени расчета около 97 мс, что подтверждает перспективность нейросетей для повышения точности и скорости резки [6].

В эпоху Industry 4.0 автоматизация летучих ножниц все чаще интегрируется с цифровыми платформами и промышленными сетями. Современные подходы включают удаленный мониторинг и управление через промышленные интернет-вещей (IoT) и беспроводные сети [7]. Появление высоконадежных беспроводных сетевых систем управления (WNCS) позволяет реализовать дистанционное и распределенное управление ножницами без потери надежности.

Это открывает возможности для более гибкой архитектуры автоматизации, когда система летучих ножниц становится частью общей интеллектуальной системы управления прокатным станом. Кроме того, улучшения в вычислительной технике позволяют реализовать сложные алгоритмы (например, с использованием компьютерного зрения для определения момента реза или цифровых двойников для отработки алгоритмов) непосредственно на производстве. В целом, современные тенденции направлены на то, чтобы сделать систему резки максимально «умной», саморегулирующейся и связанной со всеми уровнями управления предприятием [7,8].

Точное позиционирование и своевременный пуск ножниц невозможны без надежных сенсоров. В горячих прокатных линиях применяются энкодеры для измерения скорости/положения проката, лазерные или оптические датчики длины, а также датчики начала/конца полосы. Например, для режима резки по меткам на материале устанавливаются метки, считываемые фотодатчиком, по сигналу которого инициируется рез [9].

В других случаях рез выполняется через определенный интервал длины (режим cut-to-length), отсчитываемый системой измерения пути проката.

Также устанавливаются датчики положения каретки ножниц, контроля рассинхронизации и т.д. Интеграция датчиков с системой управления осуществляется через высокоскоростные входы-выходы контроллеров, что позволяет минимизировать задержки – критически важный фактор на скоростных станах [3,5].

Летучие ножницы современных станов обычно приводятся в действие сервоприводами постоянного или переменного тока с векторным управлением. Широко используются электрические сервомоторы, способные быстро разгонять ножи до скорости движения проката и точно выдерживать синхронную скорость на время реза. Так, в одной из современных реализаций применен асинхронный двигатель с векторным управлением, разгоняющий каретку ножниц для резки полосы со скоростью до  $\sim 45$  м/мин. После реза приводы обеспечивают быстрый возврат ножа в исходное положение для следующего цикла

Частые реверсивные циклы работы привода накладывают требования по прочности и эффективности – поэтому актуальны методы оптимизации динамического режима привода, снижающие энергопотребление при разгоне/торможении и уменьшающие износ оборудования [9,10].

Современные сервоприводы летучих ножниц, как правило, оснащены системами плавного управления скоростью (напр. электронный кулачковый профиль) для предотвращения рывков, снижения вибраций и ударных нагрузок. Например, использование профиля на основе сплайна 5-го порядка обеспечивает плавность ускорения и торможения, устраняя скачки силы и снижая нагрузку на механические части, что улучшает точность реза и продлевает ресурс механизма.

В управляющих системах летучих ножниц обычно задействованы программируемые логические контроллеры (ПЛК) или промышленные компьютеры, выполняющие координацию движения привода ножниц с главным приводом стана. Для высокоточной синхронизации могут применяться специализированные модули движения. Например, решение от Siemens включает ПЛК верхнего уровня, задающий команду начала реза и скорость, и контроллер движения Simotion D, вычисляющий профиль движения и управляющий приводом ножниц в реальном времени.

Обмен данными между контроллерами, датчиками и приводами осуществляется по промышленным сетям реального времени [4]. Распространены интерфейсы Profibus, Profinet IRT, EtherCAT, CANopen и др., обеспечивающие детерминированную передачу команд синхронизации.

Для повышения быстродействия используются также прямые высокоскоростные линии связи привода с энкодерами проката. Новейшие решения демонстрируют применение современных протоколов: например, показано, что использование сети EtherCAT и высокопроизводительного контроллера на базе промышленного ПК позволяет добиться реза с высокой точностью на скоростях, требуемых в металлургии [11].

Система управления летучими ножницами обычно предусматривает удобную настройку параметров через HMI и имеет функции адаптации под разные режимы (например, динамическое изменение длины реза на лету).

Кроме того, в состав автоматизации могут входить модули учета ресурса ножей, диагностики вибраций и износа, интегрированные в общую систему техобслуживания.

Как отмечалось, в управление летучими ножницами внедряются алгоритмы машинного обучения для повышения эффективности. Нечеткая логика часто используется для автоподстройки параметров регуляторов – такой гибридный подход (fuzzy-PID) сочетает устойчивость ПИД с адаптивностью ИИ [5]. Нейронные сети применяются для прогнозирования и компенсации ошибок реза [6]. В частности, backpropagation-нейросеть может обучаться на данных о прошлых резах, чтобы корректировать момент включения ножниц и компенсировать нелинейные эффекты (например, упругость привода, проскальзывание проката и пр.). В экспериментальных исследованиях подтверждено, что нейросеть способна быстро идентифицировать сложную зависимость ошибок реза от условий и существенно повысить долю резов с допуском по длине.

Также разрабатываются экспертные системы для выбора оптимального плана резки (комбинации длины и порядка резов) с учетом текущих параметров проката – фактически происходит онлайн-оптимизация раскроя для минимизации отходов.

Перспективным направлением является создание цифровых двойников летучих ножниц – моделей, имитирующих механику и динамику привода – для отладки алгоритмов управления и прогнозирования отказов без вмешательства в реальный процесс [8].

Автоматизация резки на лету сталкивается с рядом технических вызовов. Во-первых, необходимо обеспечить идеальную синхронизацию скорости ножниц с прокатом, иначе возможны деформации или увод линии реза [3].

Достижение синхронности осложняется переменностью скорости прокатки и свойств материала (толщина, температура), поэтому система управления должна быть достаточно быстрой и адаптивной [2,5]. Во-вторых, критически важна плавность движения: резкие ускорения и торможения каретки вызывают ударные нагрузки, повышенный износ механических частей и снижение точности реза.

Для решения этого требуется оптимизация траектории движения (например, ограничение рывка, использование сплайновых профилей) и высокая полосовая способность регуляторов привода. В-третьих, экстремальные условия горячей прокатки (высокая температура, вибрация, наличие окалины) предъявляют требования к надежности датчиков и электроники. Сенсоры должны быть защищены от теплового и механического воздействия, а алгоритмы – устойчивы к возможным шумам и сбоям сигналов [9]. Еще один вызов – минимизация времени простоя: в случае, например, затупления или поломки ножа система должна быстро диагностировать проблему, либо переключиться на резервный инструмент, либо остановить процесс безопасно. Это требует встроенных средств диагностики и предиктивного обслуживания [7]. Наконец, интеграция ИИ ставит задачу доверия к автоматическим решениям – персонал должен понимать и контролировать действия «умной» системы, необходимы понятные интерфейсы и алгоритмы, объяснимые с точки зрения технолога.

Несмотря на перечисленные сложности, перспективы автоматизации летучих ножниц весьма обнадеживающие. Ожидается дальнейшее увеличение скоростей резки и точности за счет совершенствования приводов и алгоритмов. Развитие силовой электроники и приводной техники позволит создавать ножницы, способные работать на еще более высоких скоростях линии без потери точности реза. Методы искусственного интеллекта будут все глубже проникать в эту сферу – возможны самонастраивающиеся системы, которые в реальном времени оптимизируют режим резки под текущий материал и условия, а также обучаются на основании больших данных (Big Data) прокатного производства. Применение цифровых двойников и моделирование процесса резки в виртуальной среде дадут возможность опробовать новые стратегии управления и оптимизировать профиль движения ножниц, не рискуя оборудованием [8]. Еще одно направление – полная интеграция с производственной линией: система летучих ножниц станет частью единого контура управления станом, получая данные от других узлов (например, о профиле выходящей полосы, наличии дефектов) и заблаговременно подстраивая параметры реза. Это уже прослеживается в концепции «умных фабрик», где оборудование обменивается данными через IoT платформы.

В перспективе такие системы могут взаимодействовать с уровнем производства заказов, оптимизируя раскрой под конкретные заказы и минимизируя отходы металла. Немаловажны и энергосберегающие технологии – исследования показывают возможность снижения энергопотребления привода ножниц путем оптимизации алгоритма разгона/торможения, что не только экономит ресурсы, но и уменьшает износ [10]. Таким образом, будущее автоматизации летучих ножниц – это сочетание высокоточных мехатронных систем с искусственным интеллектом и полной цифровой связностью, что позволит достичь нового уровня эффективности горячей прокатки.

Автоматизация процесса резки проката на летучих ножницах прошла значительный путь развития – от первых цифровых систем управления к современным интеллектуальным комплексам. Основные направления – усовершенствование алгоритмов управления (оптимальных, адаптивных, прогнозирующих), внедрение методов ИИ (нечетких регуляторов, нейросетевых компенсаторов), а также интеграция с концепцией Industry 4.0 (сбор данных, удаленное управление и диагностика). Применяемые технологии включают высокоскоростные сенсоры длины и положения, мощные сервоприводы с точным векторным управлением, ПЛК и промышленные компьютеры, связанные по сетям реального времени, и программное обеспечение для моделирования и оптимизации процесса. Современные системы уже сейчас позволяют добиться высокой точности реза, надежности и

экономичности, о чем свидетельствуют практические реализации (точность реза порядка нескольких миллиметров, снижение доли брака и экономия энергии) .

В то же время, постоянное повышение требований к скорости и качеству проката стимулирует дальнейшие исследования и разработки. В обозримом будущем автоматизированные летучие ножницы станут еще более «умными» и автономными, внося вклад в создание полностью автоматизированных и эффективных прокатных производств.

### Ключевые слова и их частота встречаемости в литературе

| Ключевое слово                    | Частота упоминания |
|-----------------------------------|--------------------|
| Летучие ножницы                   | 10                 |
| Горячая прокатка                  | 5                  |
| Система управления                | 8                  |
| Сенсоры и измерение длины         | 4                  |
| Сервопривод (приводной двигатель) | 5                  |
| Синхронизация (резка на лету)     | 6                  |
| Искусственный интеллект (ИИ)      | 3                  |
| Нейронная сеть                    | 2                  |
| Нечеткое управление               | 2                  |
| Предиктивное управление           | 2                  |
| Энергоэффективность               | 3                  |
| Минимизация отходов               | 3                  |

Нами представлена карта ключевых понятий, связанных с автоматизацией летучих ножниц (на основе анализа последних публикаций). Узлы соответствуют ключевым словам, а связи – совместной встречаемости этих терминов в одной работе. Размер узла отражает частоту упоминания термина, толщина связи – число документов, где пара терминов используется совместно.

Визуализация данных представлена на рисунке 1.

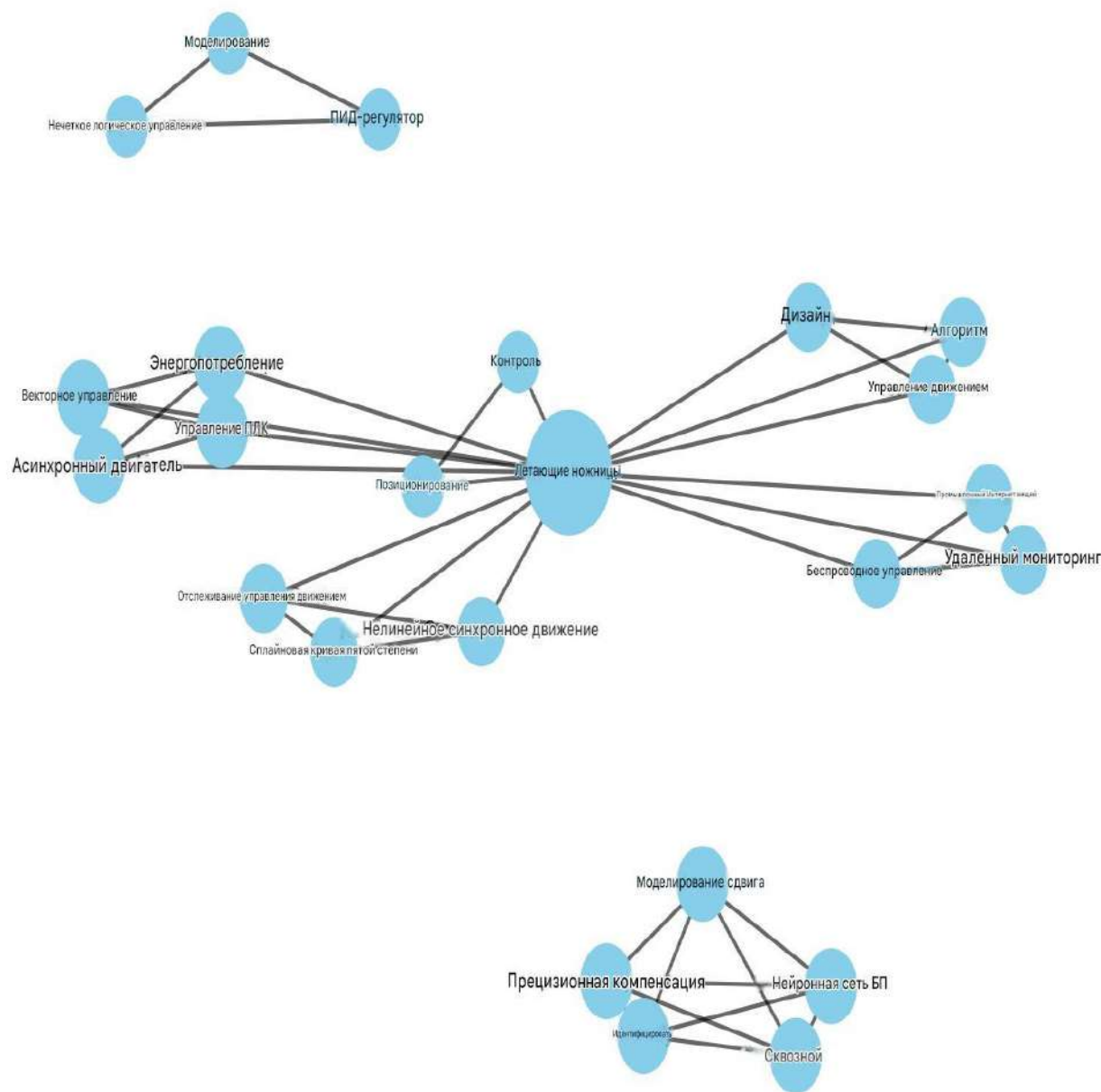


Рисунок 1 – Карта ключевых понятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петров А. Н., Николаев С. В. Оптимизация алгоритмов управления летучими ножницами при горячей прокатке. //Сталь, 2018, № 3, С. 45–51.
2. Сидоров В. П., Краснов Д. Ю. Моделирование динамики и оптимизация системы привода летучих ножниц горячего проката. //Известия вузов. Черная металлургия, 2020, № 2, С. 29–36.
3. Chen H., Zhu W., Li Y. Robust Speed Synchronization Control Strategy for Flying Shear in Hot Strip Mills. //Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2021, vol. 43(5), pp. 925–937.
4. Zhang W., Qiu L., Gao C. Research and Application of EtherCAT-based Real-Time Control System in Flying Shears. //International Journal of Control and Automation, 2019, vol. 12(5), pp. 83–92.
5. Nikulin D. A., Korablev V. S. Adaptive Fuzzy-PID Controller for High-Speed Flying Shears. //IFAC-PapersOnLine, 2020, vol. 53(2), pp. 339–344.
6. Кузнецов Е. В., Соловьёв П. И. Использование нейросетевых методов для адаптивного управления летучими ножницами.// Вестник МГТУ «Станкин», 2019, № 4, С. 34–42.
7. Козлов И. С., Лебедев А. В. Современные методы индустрии 4.0 для систем автоматизации режущего оборудования металлургических производств. //Автоматизация в промышленности, 2021, № 6, С. 52–58.
8. Tang L., Li Q. Development of a Digital Twin for Flying Shears in Rolling Lines. //Procedia CIRP, 2022, vol. 106, pp. 500–505.
9. Harada T., Mori A. Advanced Sensor Fusion for Flying Shear Position Control in Hot Rolling. //ISIJ International, 2020, vol. 60(9), pp. 2004–2012.
10. Tarasov M. V., Shen X. Energy Efficiency Improvement in Flying Shears Using Optimal Trajectory Planning. //Applied Mechanics and Materials, 2018, vol. 877, pp. 515–522.
11. Wang J., Li, L., Zhang T. Intelligent Control of Flying Shear in Hot Rolling Mills Based on Neural Networks.// Journal of Materials Processing Technology, 2019, vol. 271, pp. 78–86.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-37-42

УДК 621

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR FLYING SHEARS FOR CUTTING HOT STRIP – DATA VISUALIZATION USING VOSVIEWER

**FAYEZ WAZANI ABDUL WALID**

Master's student, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

**BATYRBEK ALIBEK ESIMBEKYLY**

PhD student, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

**LEVCHENKO ILYA VLADISLAVOVICH**

Master's student, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

---

**Abstract.** *The article discusses the development of an automatic control system for flying shears designed for high-speed and precise cutting of hot-rolled strip in metallurgical production. The study uses the VOSviewer tool for visualization and analysis of scientific and technical data, which made it possible to identify key areas of automation technology development, as well as establish relationships between various fields of knowledge (industrial automation, motion control systems, modern sensor solutions). The results confirm the relevance of further research in the field of intelligent control systems for flying shears.*

**Keywords:** *hot rolled strip, flying shears, automatic control system, industrial automation, intelligent control systems, sensors and drives, VOSviewer data visualization.*

---

The development of automatic control systems is a significant area in industrial automation, especially for enhancing efficiency and precision in hot strip processing [1]. This study focuses on analyzing and advancing the control system for flying shears used in cutting hot strips, aiming to ensure accuracy, synchronization, and thermal endurance. A comprehensive review of relevant scientific publications was conducted to identify key terms, and research clusters, offering valuable insights into current trends, and innovations in this domain.

We exported metadata from 4291 publications from the Web of Science (WoS) database using the following query: TITLE: ("automatic control system" OR "control automation" OR "flying shears" OR "hot strip cutting" OR "cutting automation" OR "steel strip control" OR "industrial automation" OR "control system design" OR "rolling mill automation" OR "hot strip mill" OR "cut-to-length system" OR "automation in steel industry" OR "precision cutting systems" OR "control system optimization" OR "modern control technologies" OR "automated cutting processes" OR "automation trends" OR "intelligent control systems" OR "industrial control engineering"). Timespan: 2020–2024. Indexes: SCI - EXPANDED, SSCI, CPCI - S, ESCI. The construction of a network of co-occurrence of keywords and their clustering was carried out using the VOSviewer 1.6.15 program [2].

The minimum occurrence of keywords selected for consideration was four. The total number of keywords in the 4291 publications considered (authors and Keywords Plus generated by WoS) is 1769. The number of keywords that appear at least 4 times is 88, and further analysis was carried out on them.

During the analysis, the spellings of keywords were not translated into Russian in order to preserve their original meanings. To reduce the number of clusters into which keywords (KW) are aggregated, an additional restriction has been introduced: at least 100 KW per cluster.

Table 1 presents the development of an automatic control system for flying shears for cutting hot strip, emphasizing the analysis and identification of key research trends and technological advancements in the field, as visualized with VOSviewer.

Table1- 40 most frequently in a sample of 4291 metadata

| Keyword                | N-kw | Keyword                  | N-kw | Keyword               | N-kw | Keyword                        | N -kw |
|------------------------|------|--------------------------|------|-----------------------|------|--------------------------------|-------|
| hot strip mill         | 75   | intelligent control      | 11   | wear                  | 8    | laminar cooling                | 5     |
| industrial automation  | 36   | process control          | 11   | profile               | 7    | smith predictor                | 5     |
| model                  | 18   | systems                  | 11   | optimal control       | 7    | temperature estimation         | 5     |
| hot rolling            | 18   | steel                    | 10   | shape                 | 7    | latent structures              | 5     |
| hot strip mill process | 17   | neural network           | 10   | coiling temperature   | 6    | independent component analysis | 5     |
| prediction             | 16   | automatic control system | 10   | mechanical-properties | 6    | riccati equations              | 4     |
| design                 | 16   | temperature              | 8    | roll wear             | 6    | heat transfer coefficient      | 4     |
| diagnosis              | 14   | optimization             | 8    | work roll             | 6    | fault-detection                | 4     |
| automation             | 13   | simulation               | 8    | strip profile         | 5    | pid control                    | 4     |
| hot strip rolling      | 11   | feedback control         | 8    | flatness              | 5    | nonlinear systems              | 4     |

**Notes:** keyword is the name of the term, N-kw is the occurrence of the term.

The dominant keywords are related to the topic, its hot strip mill, industrial automation, hot rolling, hot strip mill process, design, automation, hot strip rolling, intelligent control, process control, systems, steel, neural network, automatic control system, optimization, simulation, feedback control, wear, profile, optimal control, shape, coiling temperature, mechanical-properties, roll wear, work roll, strip profile, and flatness.

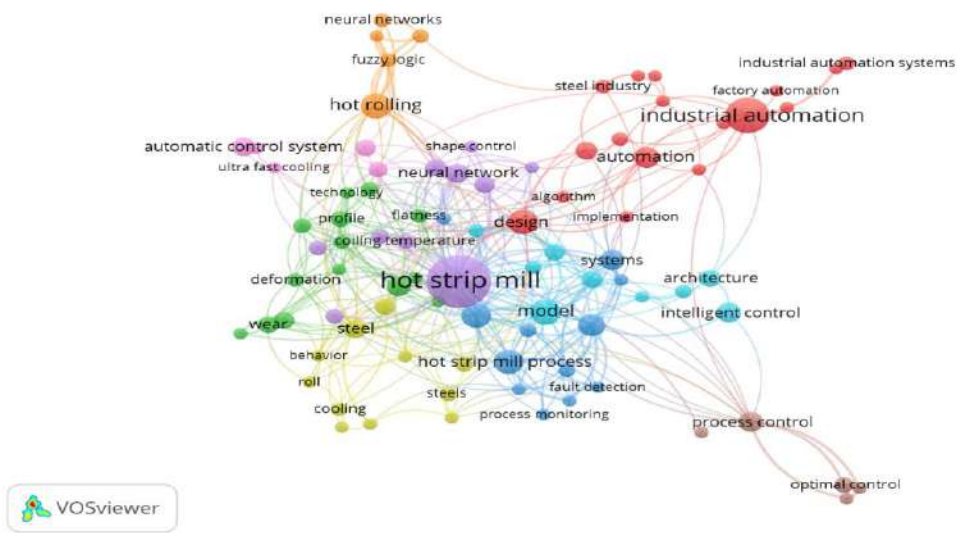


Figure 1- Keyword Co-Occurrence Network Visualization: 88 Most Frequent Terms in 4291 Publications

If we consider separately the keywords of the authors themselves, then with a total number of 1484 KW, 54 KW occur at least four times, while the total number of keywords plus (Keywords Plus) generated by the WoS platform is 361, and those encountered more than four times are 22.

Table 2- Comparison of the 30 most common keywords used by publication authors and WoS platform keywords

| Author Keywords          | N-kw | Keywords Plus             | N-kw |
|--------------------------|------|---------------------------|------|
| hot strip mill           | 75   | cooling                   | 5    |
| industrial automation    | 36   | strip profile             | 5    |
| hot rolling              | 18   | laminar cooling           | 5    |
| hot strip mill process   | 17   | fuzzy logic               | 5    |
| automation               | 13   | neural networks           | 4    |
| process control          | 11   | pid control               | 4    |
| intelligent control      | 11   | smith predictor           | 4    |
| hot strip rolling        | 11   | nonlinear systems         | 4    |
| automatic control system | 10   | riccati equations         | 4    |
| neural network           | 10   | heat transfer coefficient | 4    |
| control system           | 8    | ultra-fast cooling        | 4    |
| feedback control         | 7    | virtualization            | 4    |
| optimal control          | 7    | finishing mill            | 4    |
| roll wear                | 6    | safety                    | 4    |
| coiling temperature      | 6    | strip flatness            | 4    |

Table 2 presents the result of a comparison of the 30 most common keywords of publication authors and keywords of the WoS platform. It shows that authors often use more general terms to classify their publications: hot strip mill, industrial automation, hot rolling, hot strip mill process, automation, process control, intelligent control, hot strip rolling, automatic control system, neural network, control system, feedback control, optimal control, roll wear, and coiling temperature.

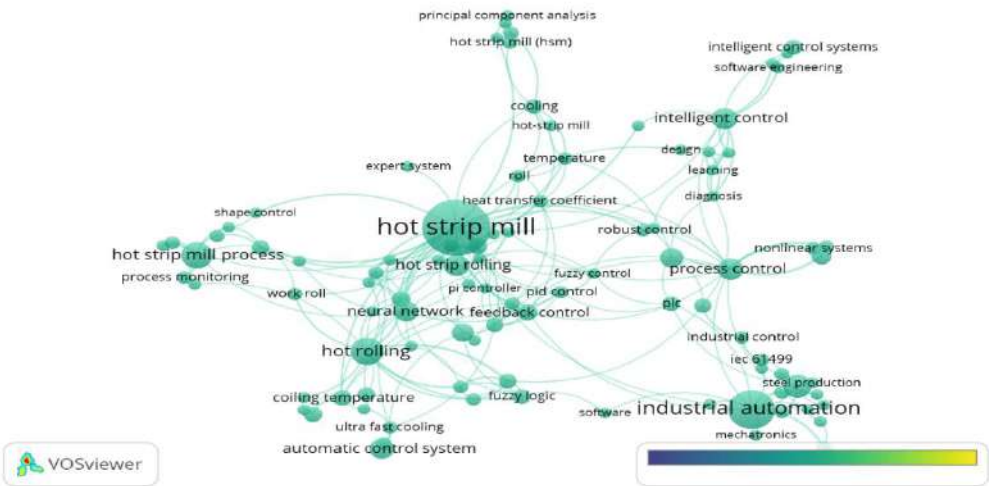


Figure 2- Overlay Visualization of 30 Most Common Keywords: Author-Assigned vs. WoS-Generated Terms

The Web of Science (WoS) platform also generates a list of “Keywords Plus” based on the analysis of the full texts of publications. These terms often describe the topic from a broader perspective than the authors' original keywords. In this case, the dominant terms include: diagnosis, prediction, systems, model, latent structures, design, fault detection, mechanical properties, PCA, optimization, profile, behavior, deformation, independent component analysis, steel, temperature, microstructure, heat transfer, shape, and steels, which collectively provide a deeper insight into the implementation of the themes addressed by the authors' keywords [3].

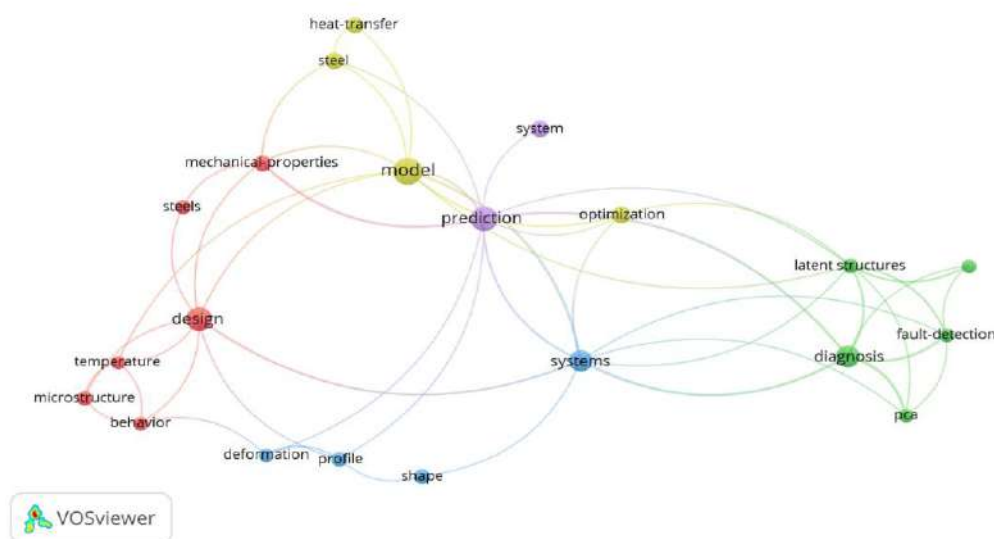


Figure 3 - Keywords Plus Co-Occurrence Network Visualization: 196 Most Frequent in 4291 Publications

This is also reflected in the clustering of author keywords, WoS platform keywords and the sum of these keywords. Clustering is based on the co-occurrence of keywords in a publication; the clustering algorithm is described in detail in the VOSviewer 1.6.15 user manual. Identification of the dominant keywords in each cluster allows us to reduce bias in the further collection of scientific publications on a narrower issue, for example, to compile a systematic review. A well-known problem of narrow specialists: they see their topic well, overestimate the importance of key terms close to them and tend to underestimate other people's topics. At the same time, a significant part of innovations is implemented at the intersection of research areas.

This analysis provides a comprehensive review of the current state of research on the development of an automatic control system for flying shears used in hot strip cutting, with a specific focus on advancements in industrial automation, real-time control, and intelligent cutting systems in the steel industry. To understand the scope, trends, and dominant areas of interest in this field, we utilized VOSviewer, a powerful bibliometric visualization tool, to analyze and map data from 4291 scientific publications indexed in the Web of Science (WoS) database.

The results of the keyword co-occurrence analysis conducted using VOSviewer reveal several core thematic clusters, which represent the technical and scientific foundations of research in this domain. The most dominant keywords identified include: hot strip mill, flying shear, process control, intelligent control, hot rolling, industrial automation, neural networks, predictive modeling, optimization, and feedback systems. These terms form the basis of current research efforts aimed at developing smart control algorithms for precise and efficient cutting operations in steel production environments.

Our analysis emphasizes the significance of integrating machine learning algorithms, adaptive control loops, and thermal regulation techniques to enhance the performance of automatic flying shears. The technological progression has shifted from traditional mechanical and manual systems

to cyber-physical systems capable of responding to variable strip temperatures, deformation patterns, and rolling speed in real-time. Advanced modeling techniques like nonlinear control theory, system identification, and predictive maintenance frameworks have also gained traction in the literature [4,5].

Furthermore, a comparison between author keywords and Keywords Plus (generated by WoS) revealed a broader landscape of analytical concepts including: system design, prediction, fault detection, behavior modeling, shape optimization, latent structures, PCA (Principal Component Analysis), independent component analysis, and heat transfer. These broader terms suggest a growing interest in the multidisciplinary integration of data-driven modeling, signal processing, and statistical learning into steel processing technologies [6].

The use of Keywords Plus allows researchers to uncover hidden connections and emerging themes that may not be directly addressed by author-defined keywords but are nonetheless central to the intellectual structure of the field. This supports the development of more inclusive and forward-looking systematic reviews that can bridge gaps between engineering disciplines and promote innovation [7].

From a technological standpoint, research points toward the increasing application of digital twins, intelligent sensors, simulation platforms, and real-time data acquisition systems. These tools are being used to model shear blade behavior under variable temperature and pressure conditions, optimize timing algorithms for strip cutting, and predict shear wear and tear for enhanced maintenance scheduling. Such advancements are instrumental in minimizing material wastage, increasing production speed, and ensuring uniform strip lengths during high-speed rolling operations [8, 9].

The field of automatic control system development for hot strip processing is inherently interdisciplinary, drawing on knowledge from mechanical engineering, electrical engineering, control theory, artificial intelligence, and materials science. Tools like VOSviewer enable researchers to gain a visual and data-driven understanding of how different concepts and innovations intersect and evolve over time, revealing trends, knowledge gaps, and future directions [10].

Lastly, the integration of Industry 4.0 principles—including sensor fusion, edge computing, AI-based diagnostics, and predictive control architectures—is crucial for the advancement of intelligent cutting systems. These innovations not only enhance process reliability and efficiency but also contribute to sustainable steel production by reducing energy consumption, minimizing downtime, and improving product quality.

## REFERENCES

1. Li, X., Wang, Y., & Zhao, L. (2021). Design and optimization of control systems for hot strip shearing processes. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 580–589.
2. VOSviewer Manual: Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2021). VOSviewer Manual: Version 1.6.15. Centre for Science and Technology Studies, Leiden University.
3. Garfield, E. (1990). Keywords Plus—ISI's breakthrough retrieval method: Part 1. Expanding your searching power on Current Contents on Diskette. *Current Contents*, 32, 5–9.
4. Yao, L., Postlethwaite, I., Browne, W., Gu, D., Mar, M., & Lowes, S. (2005). Design, implementation and testing of an intelligent knowledge-based system for the supervisory control of a hot rolling mill. *Journal of Process Control*, 15(6), 615–628.
5. Huang, T., & Zhao, L. (2020). Review of model-based and data-driven approaches in steel rolling automation. *Materials & Manufacturing Processes*, 35(9), 993–1002.
6. Garfield, E. (1993). KeyWords Plus—algorithmic derivative indexing. *Journal of the American Society for Information Science*, 44(5), 298–299. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(199306\)](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(199306)).
7. Kim, Y. S., & Lee, C. H. (2022). Optimization strategies for control systems in strip mill automation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(5), 3032–3040. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3084712>.
8. Singh, M., & Gupta, A. (2023). Application of machine learning in fault detection and predictive control for steel strip processes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126, 2121–2137. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11711-z>.
9. Liu, X., & Chen, Y. (2022). A survey of intelligent process control in the steel industry: Trends and future directions. *Computers in Industry*, 139, 103636. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103636>.
10. Ahmad, A., & Hussain, M. (2021). Smart manufacturing systems: Integration of artificial intelligence and industrial internet of things for enhanced productivity. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(4), 959–975. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01569-3>.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-43-46  
UDC 621.396

## IDENTIFICATION METHODS AND DEVICE STATUS MONITORING: SECURITY AND FAULT PREDICTION

**TYNYSTANOVA NAGIMA YERLANKYZY**

Masters's student of Almaty Technological University

**KHAMIT ARUZHAN ZHANDOSKYZY**

Masters's student of Almaty Technological University

Scientific supervisor - **UAZHANOVA RAUSHAN ULANGAZIEVNA**

**UIKASSOVA ZAIRA SATAYEVNA**

PHD

**ZHOGIBAEVA SHAPAGAT KADIRKYZY**

Student of Almaty Technological University

Almaty, Kazakhstan

---

**Abstract:** *Goal. The purpose of this research is to develop and analyze methods and devices for monitoring the state of systems and predicting malfunctions, as well as improving the security of information systems and devices.*

*Method. When solving the tasks, the analysis of existing monitoring and security methods and the use of machine learning algorithms for fault prediction were used.*

*Result. In the course of the work, effective methods for monitoring and predicting malfunctions were proposed, which ensure timely detection and prevention of potential threats. Algorithms have been developed to accurately predict possible system failures, and solutions have been proposed to improve device security and reliability.*

*Conclusions. The development of monitoring systems using modern identification and forecasting methods significantly improves the safety and stability of devices.*

**Keywords:** *Identification of objects, identification of the state of objects, modeling, monitoring systems*

---

As the complexity of modern digital systems and devices increases, the issues of monitoring and matching their state become especially important. The methods and devices used in this area are aimed at protecting a person's personal data, ensuring security and predicting failures. To carry out status monitoring, various technologies are used, among which biometric identification systems, IoT devices and machine learning methods occupy a special place.

Identification methods and device status monitoring systems are technologies used to ensure the protection of identity recognition and its data. Among them, biometric methods (facial recognition, fingerprint scanning, voice recognition) and electronic identification tools are widely used. Systems for monitoring the status of devices also support this process, as they allow you to ensure the safety of the user, predict failures and increase the efficiency of the system.

Integration of identification methods and monitoring the status of devices — contributes to the formation of a new level of security. For example, multifactorial identification systems (these are systems that work at multiple levels, such as biometrics, passwords, and tokens) act in conjunction with device status monitoring systems to help detect threats in a timely manner.

The importance of safety and fault prediction is not only the protection of the operability of devices and systems, but also the correct monitoring of their condition and fault prediction. As a rule, the malfunctions of devices can be significantly reduced by foreseeing in advance. Security

and fault prediction systems use many technologies and methods. They allow you to monitor the status of devices and detect future breakdowns in advance. For example: data analysis and machine learning: by accumulating data on the state of devices, the system can learn fault prediction algorithms. This method helps to accurately predict the state of the device.

Sensor monitoring: the sensors installed in the devices monitor temperature, humidity, load and other physical parameters and detect defects and anomalies in time.

Fault prediction systems are often based on monitoring the status of a device in real time. These systems allow you to eliminate future failures by anticipating them before they affect the performance of the system.[1,2]

Table 1

Methods for monitoring the status of devices and predicting failures

| Method/<br>Technology            | Purpose                                                   | Areas of<br>application                     | Security/<br>Fault<br>prediction aspect                               | Advantages                                                         |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Biometric<br>identification      | Identity<br>identification                                | Law<br>enforcement,<br>finance,<br>medicine | Clear user<br>identification,<br>protection against<br>cybercrime     | High security,<br>accessibility                                    |
| Machine<br>learning (ML)         | Fault prediction<br>and system<br>condition<br>assessment | Production, IoT<br>devices                  | Predicting system<br>failures and threats                             | Dynamic<br>prediction, high<br>accuracy                            |
| Sensory<br>monitoring            | Monitoring the<br>operation of<br>devices                 | Production,<br>energy,<br>construction      | Monitoring of<br>parameters such as<br>temperature,<br>humidity, load | Real-time data,<br>prevention<br>features                          |
| Multifactorial<br>identification | Ensuring user<br>safety                                   | Internet<br>banking, social<br>networks     | Checking user ID<br>on multiple levels                                | High level of<br>security, fraud<br>prevention                     |
| Checking<br>device status        | Timely detection<br>of device<br>malfunctions             | Smart devices,<br>transport<br>systems      | Predicting device<br>malfunction<br>features                          | Ensuring that the<br>device works for<br>a long time               |
| Security<br>systems              | Detection of<br>cyber attacks and<br>threats              | Network<br>security, servers                | Monitoring entry<br>and exit behavior in<br>devices and systems       | Ensuring<br>security,<br>monitoring the<br>availability of<br>data |

The integration of identification methods and systems for monitoring the status of devices opens up new opportunities. With the help of these joint systems: user safety is ensured at a high level. For example, when the status of the device is under constant monitoring, the identification system automatically detects malfunctions and threats.

It is easier to prevent defects. The state of the device is monitored by sensors, and the system, based on the collected data, determines the possible cause of the malfunction and activates fault prediction algorithms.

User service efficiency increases. Status monitoring systems based on the operation of biometric methods and systems allow you to quickly and safely carry out user identification.[3,4]

Table 2

Fault prediction and safety assurance methods

| Device/System | Monitoring<br>method | Fault prediction<br>method | Security-related<br>measures | Future<br>efficiencies |
|---------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------|
|---------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------|

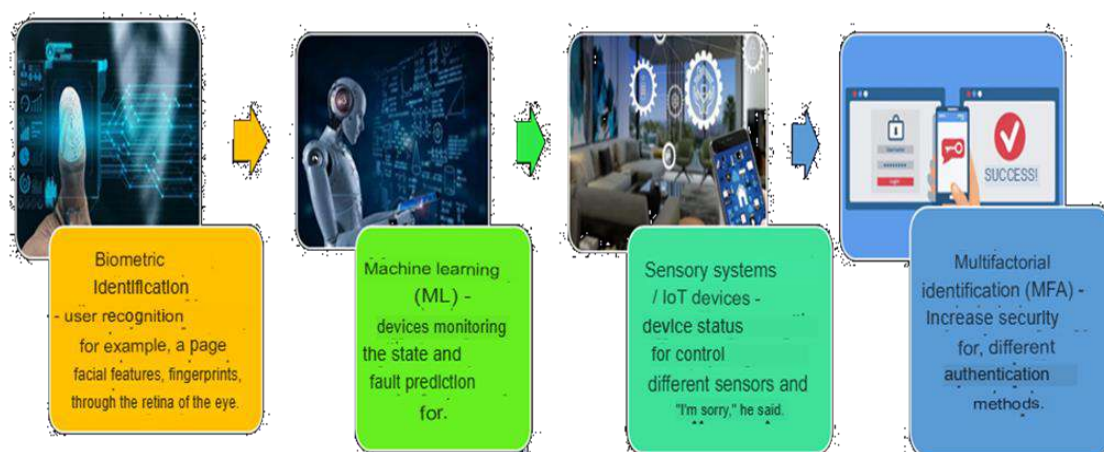
|                    |                                                            |                                                                 |                                                        |                                                          |
|--------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Energy systems     | Load and temperature control through sensors               | Predicting the load advantage and temperature rise              | Preventing the operation of devices from stopping      | Safe energy consumption, long service life of the device |
| Smart devices      | Device status check, remote monitoring                     | Identification of signs that reduce the stability of the device | Device failure Prevention, Data Protection             | Stable operation, ability to quickly recover             |
| Industrial devices | Device status monitoring based on machine learning         | Data-based fault prediction                                     | Safety of production processes by preventing defects   | Improve production efficiency, reduce costs              |
| Network devices    | Network traffic monitoring, login activity monitoring      | Early detection of cyber attacks and malicious activity         | Network Threat Management, Data Protection             | Increase the stability of the system, resist attacks     |
| Transport systems  | Monitoring the operation of vehicles using GPS and sensors | Prediction of motion defects and other hazards                  | Ensuring road safety, preliminary control of transport | Improving road safety, timely prediction of defects      |

Taking into account safety aspects will ensure that the devices work properly and are put into operation on time. Monitor devices from a security perspective and predict failures: solve data loss and access problems. If the state of the device is monitored and its operation is provided with a forecast, the chances of data loss or system shutdown are reduced.

Eliminates security violations of devices. Status monitoring systems detect hard or software failures of the device, which in turn allows you to prevent attacks on the system.

To predict or prevent device breakdowns in some cases. For example, by monitoring the temperature of the device using thermal cameras and other sensors and maintaining it at a normal level, it is possible to predict technical problems and system failures.[5]

The integration of identification methods and device status monitoring is important today. Security and fault prediction systems ensure stable operation of devices, increase data security and improve use efficiency. The combination of modern technologies and methods is a key factor in improving the reliability and security of systems in the future.



### **Figure 1. Identification technologies for monitoring the status of devices**

Biometric identification is the process of identifying and verifying personality through the use of a person's physical or behavioral characteristics. This technology is used in security systems, identity cards, passports, banking services and many other areas.

Machine learning (ML) is the process of teaching computers and systems to gain experience through data and make decisions based on the data obtained in the future. This method allows you to automate important tasks such as analyzing data, identifying patterns, and making forecasts. Machine learning as a branch of artificial intelligence (AI) aims to automatically detect patterns and rules from data without human control.

Sensory systems and IoT (Internet of things) are technologies designed for physical devices and objects to communicate and interact with the digital world. IoT devices and sensors play an important role in our daily lives, as they allow us to collect, process real-time data and thereby improve the performance of various systems and devices.

Multifactorial identification (MFA) is a user identity verification security system in which more than one proof factor is required to log in. This method is used to enhance security and combines a number of factors to obtain access to the system. MFA systems significantly complicate attempts by hackers to steal personal information and gain access to the system illegally.[6,7]

### **LIST OF REFERENCES**

1. Rouse, M. (2019). Multi-factorial authentication (MFA). TechTarget. Received <https://www.techtarget.com>
2. Jansen, W., & Karygiannis, T. (2003). Management of electronic authentication. The National Institute of standards and technology (NIST). Received <https://nvlpubs.nist.gov>
3. Sheng, S., & Liao, L. (2020). There will be multi-factorial authentication: increasing security in the digital world. Springer.
4. Burr, W. E., Dodson, D. F., & Polk, W. T. (2006). Management of electronic authentication. National Institute of standards and technology (NIST), Special Provision 800-63. received <https://csrc.nist.gov>
5. Kaspersky. (2021). What is multi-factorial authentication (MFA)? Kaspersky. Received <https://www.kaspersky.com>
6. Zhao, L., & Wu, X. (2020). Security and confidentiality in the era of multi-factorial authentication. Wiley.
7. Riley, M. (2018). Multi-factorial authentication in modern cyber security. Journal cyberbezopasnosti, 34 (2), 112-130.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-47-59

UDC: 537.876

## CALCULATION OF THE DIELECTRIC CONSTANT OF MATERIALS BY THE NICHOLSON-ROSS-WEIR METHOD

ABEUOV NURBEK

AKBAROV BAISULTANBEKMYRZAKHAN

IMANBAYEV TEMIRLAN

Master degree student; Department of Radio Engineering, Electronics and  
Telecommunications, L.N. Gumilyov Eurasian National University

MAKHANOV K.M

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer, Department of Radio  
Engineering, Electronics and Telecommunications,  
L.N. Gumilyov Eurasian National University

Supervisor - MAKHANOV K.M

Astana, Kazakhstan;

---

**Abstract:** *The study focuses on the development and implementation of a software application for calculating the dielectric and magnetic permeability of materials based on the Nicholson-Ross-Weir (NRW) method. These parameters are essential in materials science, microwave engineering, and electronics, significantly influencing the performance of various devices, including antennas, resonators, waveguides, and capacitors. Accurate determination of these properties is crucial for optimizing material design and ensuring efficient electromagnetic compatibility in high-frequency applications.*

*The NRW method, which relies on the analysis of S-parameters to extract material characteristics, provides a robust and widely accepted approach for evaluating electromagnetic properties across a broad frequency spectrum. However, manual calculations can be complex and prone to errors. To address this challenge, the developed application automates the computational process, minimizing inaccuracies and improving the accessibility of the NRW method for researchers and engineers.*

*The implementation is based on the Electron framework, ensuring cross-platform compatibility, and integrates libraries such as Math.js and jQuery to facilitate numerical computations and enhance user interaction. The software supports both exponential and algebraic calculation forms, allowing users to analyze different material properties with high efficiency.*

*The accuracy of the application was validated through extensive testing, comparing the computed results with data from established studies, such as "Measurement of Dielectric Material Properties" by Rohde & Schwarz. Additionally, the program enables real-time data acquisition from a vector network analyzer, ensuring precise permeability calculations. Future enhancements may include the incorporation of reactive electromagnetic energy modeling and advanced three-dimensional electromagnetic simulations to further improve accuracy.*

*By providing a reliable and user-friendly computational tool, this application streamlines material characterization in high-frequency domains, contributing to advancements in both research and industrial applications.*

**Key words:** *Nicholson-Ross-Weir (NRW) method, dielectric permittivity, magnetic permeability, S-parameters, electromagnetic properties, high-frequency applications, numerical calculations, Electron framework, Math.js, jQuery.*

---

### Introduction (Literature review)

Research in materials science, microwave engineering, and electronics requires calculating the magnetic and dielectric permittivity of a material, which characterize its ability to interact with an electromagnetic field and determine how strongly a material can be magnetized under its influence [1]. These physical parameters are key values for many technical and scientific applications, as they determine the efficiency of electrical devices such as capacitors, resonators, antennas, and others.

In addition, these parameters play an important role in the field of radio engineering and radiophysics in calculating the absorption, reflection and transmission of electromagnetic waves through various materials and media. Many aspects of wave propagation depend on the dielectric constant and magnetic conductivity of the material[2]. Understanding these characteristics makes it possible to develop new materials with specified properties, improve the quality of communication, and create highly efficient devices for operation in the microwave range. To determine the characteristics of dielectric materials in the microwave frequency range, the cavity perturbation method is the most common resonator method.[3]

This work is devoted to the development and implementation of an application designed to calculate the dielectric constant based on measurements of S-parameters using the Nicholas-Ross-Weir method. The results of the work are focused on automating complex calculations, minimizing errors, and increasing the accessibility of the method to a wide range of specialists in materials science and engineering.

Dielectric permittivity ( $\epsilon$ ) is a fundamental material characteristic that describes its ability to polarize under the influence of an electric field. It determines how much a material can attenuate an electric field within itself compared to a vacuum. This property is crucial in radio engineering, microelectronics, antenna design, and materials science, as it affects wave propagation speed, energy loss levels, and the efficiency of radio-frequency devices [4].

Various methods are used to determine dielectric permittivity, depending on the frequency range, accuracy requirements, and sample properties. One of the most widely used methods is the **Nicholas-Ross-Weir (NRW) method**, which analyzes reflection and transmission coefficients (S-parameters). Other methods include:

- **Resonant methods** – Based on measuring the shift in resonance frequency of a cavity or transmission line when a sample is introduced. These methods provide high accuracy but are often limited to narrow frequency ranges [5].
- **Time-domain methods (TDR, FDTD)** – Utilize transient signals to extract permittivity from reflections and transmissions. These methods are useful for materials with frequency-dependent properties [6].
- **Parallel plate capacitor method** – A low-frequency technique that measures capacitance changes when a dielectric sample is placed between capacitor plates. This is effective for bulk materials and thin films [7].
- **Interferometric methods** – Use phase shifts in electromagnetic waves passing through a material to determine its dielectric properties, often applied in optical and microwave studies [8].
- **Ellipsometry** – A non-contact optical technique that measures changes in polarization of reflected light to determine permittivity, commonly used for thin films [9].

The Nicholas-Ross-Weir (NRW) method is an important tool for studying the dielectric constant of materials used in various fields of science and technology, including materials physics, electronics, and radio engineering. This method was proposed by D. Nicholas, S. Ross, and A. Weir for accurate measurements of material characteristics such as permittivity, conductivity, and magnetic properties in the high-frequency range, including microwave and radio frequency spectra.

At the time of the development of the NRW method, existing methods for measuring permittivity faced a number of limitations, especially regarding measurement accuracy at high frequencies and the complexity of data processing for materials with non-standard characteristics [1]. To eliminate these problems and ensure more precise measurements over a wide frequency

range, scientists proposed a method that uses special algorithms and computational techniques to obtain reliable results when studying both conductive and insulating materials.

As noted in [10], the NRW method is fast and has a wide range of applications, including waveguides and coaxial lines, and provides the ability to determine the dielectric and magnetic permeability of materials. Additionally, as indicated in [11], the use of S-parameters makes it possible to calculate numerical electrical and magnetic properties, such as permittivity and magnetic conductivity, which are key to characterizing the total resistance.

Despite its advantages, the NRW method has certain limitations. According to [13], one of its weaknesses is that the reactive electromagnetic energy in inhomogeneous regions is not considered. This reactive energy alters the effective length of the central section, potentially leading to significant errors. To minimize these errors, an iterative procedure has been proposed, incorporating reactive energy modeling using a concentrated model of reactive elements. Furthermore, the use of three-dimensional electromagnetic modeling allows for a more comprehensive analysis of the interaction between electromagnetic waves and materials, thereby enhancing accuracy, especially in high-frequency applications [13].

The work of Nicolson, A.M., & Ross [14] describes how the NRW method relies on analytical equations of wave propagation in transmission lines and waveguides, ensuring high accuracy and versatility. Unlike methods based on Fourier transforms, NRW does not require time-domain signal decomposition but operates directly in the frequency domain, applying scattering parameters to calculate material characteristics.

Additionally, [14] compares NRW and Fourier-based methods, noting that Fourier transform methods provide high frequency resolution but struggle to match the accuracy of narrowband techniques in the frequency domain. In contrast, the NRW method covers a broader frequency range with lower computational costs since it operates directly in the frequency domain without requiring time-domain decomposition.

The novelty of this study, based on the Nicholas-Ross-Weir (NRW) method, lies in simplifying and automating the process of accurately measuring the dielectric and magnetic permeability of materials. Instead of relying on complex equipment and manual computational techniques, the proposed software application enables fast and precise calculations of these parameters, which is crucial for scientific and applied research in electronics and radio engineering. A key feature of the software is the use of S-parameters to determine material properties, ensuring high accuracy.

The primary aim of this study is to implement the NRW method's formulas into program code, focusing on software development, accurate mathematical computation, and ensuring reliable, reproducible results. Given the complexity of the required mathematical operations, manual calculations can be time-consuming and error-prone. The developed application automates these calculations, significantly reducing potential errors and improving accuracy, making it an essential tool for materials science and engineering research.

In addition to enhancing precision, the application accelerates the analysis and development of new materials, making the NRW method more accessible to a broader audience, including students and engineers. By eliminating the need for deep expertise in mathematical modeling, the software reduces dependence on expensive specialized programs and facilitates the rapid application of the NRW method across various technological fields.

Based on the conducted analysis, a software application has been developed to calculate dielectric permittivity and magnetic permeability. Future improvements may include incorporating a mechanism for accounting for reactive electromagnetic energy in inhomogeneous regions, addressing one of the key limitations of the traditional NRW method [15]. Such an enhancement would significantly increase calculation accuracy by modeling the interaction of electromagnetic waves with materials featuring complex structures.

### **Materials and methods**

The authors in [15] did the work by assuming that the physical essence of the method is based on the assumption that the average polarizability of molecules in a material is proportional to their

number per unit volume. The polarizability of a molecule is determined by its interaction with an external electric field.

In the work done, presented in the book on the use of materials [17], an illustrative example of an algebraic solution to the problem of determining the permeability of a material was considered. Polytetrafluoroethylene (PTFE) was chosen as the test material. To determine the reflection coefficient and transmission coefficient, it is necessary to measure all four S-parameters ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ ) or at least a couple of them ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ) of the material being tested. However, for low-loss materials, the method does not work correctly at frequencies corresponding to whole multiples of half the wavelength in the sample, due to phase uncertainty. Therefore, this method is limited to the optimal sample thickness of  $\lambda_g/4$  and is recommended for short samples. Below is a graph (Fig. 1) of the dielectric constant of polytetrafluoroethylene (PTFE), measured by the NRW method in the SNA5000A material measurement mode [12].

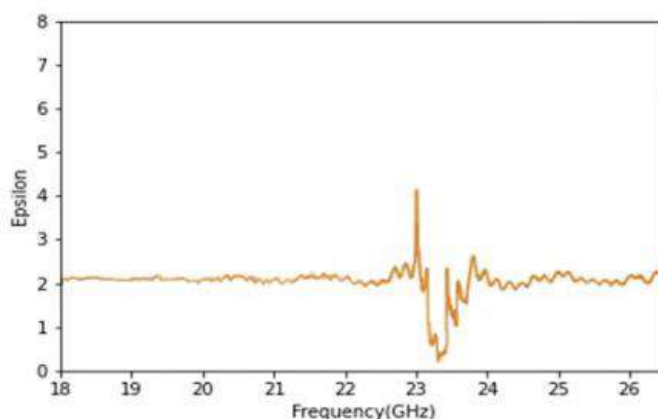


Fig. 1. Graph of the dielectric constant [12]

Fig. 1 shows the measured parameters  $\epsilon_r$  (dielectric permittivity) of PTFE material as a function of frequency. The frequencies are characterized by instability in the  $S_{11}$  measurements, which can be observed in the range from 23 GHz to 24 GHz, where the values calculated using the NRW method behave abnormally. Such peaks or dips can be considered artifacts caused by the half-wavelength multiple effect rather than actual changes in the material properties [12].

The computational part considers the step-by-step use of the NRW method (Fig. 2), which is used as the basis for a software calculator.

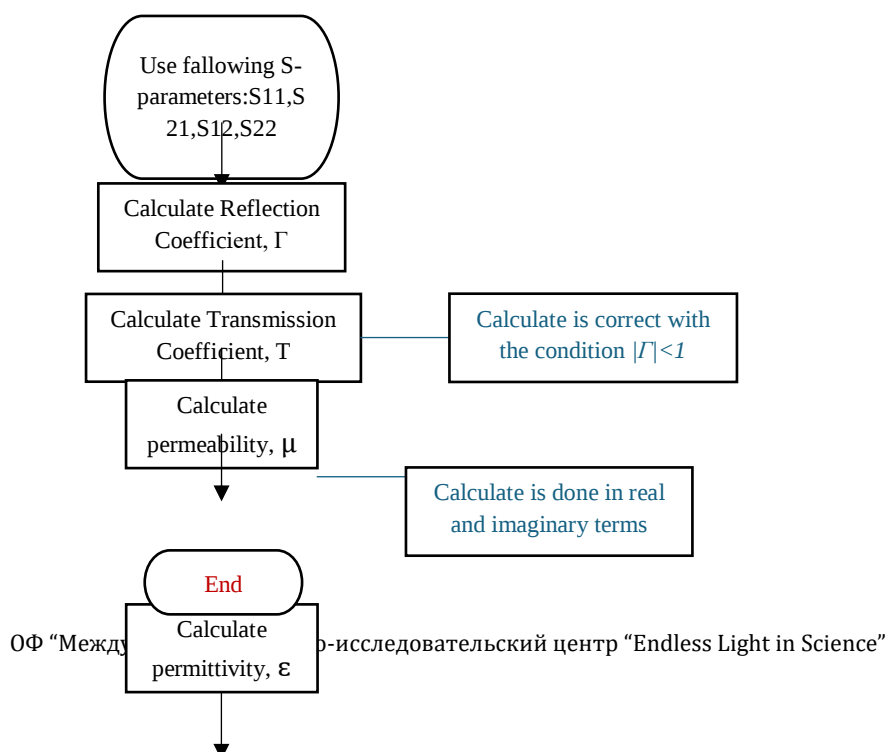


Fig. 2. The sequence of calculation steps [17]

The S – parameters can be directly obtained using a vector analyzer.:

$$S = \frac{\Gamma(1-T^2)}{(1-\Gamma^2T^2)} \quad \text{and} \quad S = \frac{T(1-\Gamma^2)}{(1-\Gamma^2T^2)} \quad (1)$$

$\Gamma$  – the reflection coefficient

$T$  – the transmission coefficient

The reflection coefficient ( $\Gamma$  in (2)) is a value describing the degree of reflection of electromagnetic waves from the boundary between two media. In the NRW method, it is necessary to calculate the S-parameters, which serve as the basis for determining the dielectric and magnetic permeability of materials. The reflection coefficient can be derived as follows:

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad \text{where} \quad X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad (2)$$

where  $|\Gamma| < 1$  is necessary to determine the correct root and in terms of the s-parameter.  $X$  (2) is the reactive component, or rather the impedance of the material, which affects the reflected wave.

The transmission coefficient ( $T$  in (3)) is the ratio of the amplitude of a wave passing through a material or boundary between two media. In the NRW method, it is used to calculate the S-parameters, which makes it possible to determine the dielectric and magnetic permeability of the material. The transmission coefficient can be written as

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (3)$$

The magnetic permeability ( $\mu_r$ ) is set as follows:

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma_1}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\Lambda_0^2} - \frac{1}{\Lambda_c^2}}} \quad (4)$$

where  $\Lambda_0$  is the wavelength in free space, and  $\Lambda_c$  is the cutoff wavelength,

$$\frac{1}{\Lambda^2} = \left( \frac{\epsilon_r \mu_r}{\Lambda_0^2} - \frac{1}{\Lambda_c^2} \right) = - \left( \frac{1}{2\pi L} \ln \left( \frac{1}{T} \right) \right)^2 \quad (5)$$

The dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) can be defined as

$$\epsilon_r = \frac{\Lambda_0^2}{\mu_r} \left( \frac{1}{\Lambda_c^2} - \left( \frac{1}{2\pi L} \ln \left( \frac{1}{T} \right) \right)^2 \right) \quad (6)$$

$L$  – length of the material.

$\epsilon_r$  - relative permittivity.

$\mu_r$  – relative magnetic permeability.

$\Lambda_g$  – wavelength in the material.

$\Lambda$  – constant dissemination of the material.

$C$  – The speed of light.

$F$  – frequency.

Equations (5) and (6) demonstrate an interesting property: they have an infinite number of roots. This is due to the fact that the imaginary part of the expression (7)

$$\frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{2L}{\Lambda_g} \right) \quad (7)$$

is equal to  $(\theta + 2\pi n) * j$ , where  $n$  takes the values 0, +/- 1, +/- 2, .... The value “ $n$ ” is defined as an integer [8], which is a quotient of the division of  $L$  by  $\Lambda_g$ .

The development of the NRW-based calculator was carried out using the Electron framework [18], chosen for its ability to facilitate cross-platform application development while ensuring a user-friendly graphical interface. The proposed approach optimizes the implementation of the Nicholas-Ross-Weir (NRW) method by integrating modern web technologies and mathematical computation tools, streamlining both usability and computational efficiency.

A key contribution of this work is the design and implementation of a unified development environment, where both the frontend and backend are built using HTML, CSS, and JavaScript [19]. This approach significantly reduces development complexity and enhances maintainability. Unlike

traditional implementations that rely on separate frameworks for different components, the proposed method ensures a seamless integration of UI and computational logic.

To enhance portability and accessibility, the application is designed to run on Windows, macOS, and Linux without significant modifications to the code. This is achieved through Electron's cross-platform capabilities, which facilitate widespread adoption across various user groups. Managing dependencies efficiently is crucial for the stability and accuracy of the calculations, which is why NPM (Node Package Manager) [20] was employed. The author's contribution includes the structured integration of necessary libraries, ensuring version compatibility and reducing potential errors.

A major improvement introduced in this work is the use of Math.js for handling complex mathematical computations, particularly those involving S-parameters. The implementation leverages Math.js's built-in functions for operations with complex numbers—such as multiplication, division, modulus, and argument calculation—minimizing the need for manual mathematical function development and improving code readability. Unlike conventional approaches that rely on basic JavaScript functions, this method improves computational efficiency and reduces redundancy in mathematical operations.

For interface development, the jQuery library was integrated to facilitate dynamic content manipulation and user interaction. The author implemented a structured approach to data validation, error handling, and real-time result updates without requiring page reloads. This contribution ensures a smooth user experience, reducing input errors and improving accessibility for engineers and researchers working with the NRW method.

The combination of these technologies, as proposed in this work, provides a novel approach to implementing the NRW method in a software application. By automating complex calculations and offering an intuitive, interactive interface, this solution enhances both the efficiency and accuracy of material characterization processes.

## Results

The following sequence of calculations is presented with a step-by-step implementation in JavaScript, demonstrating the process of computing the electromagnetic parameters of a material. This code takes into account important aspects of working with complex numbers and transformations necessary for accurate parameter calculations. Each key operation is assigned a separate block of code, making the algorithm more readable and understandable.

### 1. Convert angles from degrees to radians

```
const s11_phase = s11_phase_val * (Math.PI / 180);  
const s21_phase = s21_phase_val * (Math.PI / 180);  
  
// Build complex S11 and S21 from magnitude & phase  
// s11_num = s11_param_num * e^{i * s11_phase}  
const s11_num = complex(  
  s11_num_val * Math.cos(s11_phase),  
  s11_num_val * Math.sin(s11_phase)  
);  
  
const s21_num = complex(  
  s21_num_val * Math.cos(s21_phase),  
  s21_num_val * Math.sin(s21_phase)  
);
```

### 2. The reactive component (X) (2):

The code implements complex arithmetic operations in a structured manner, ensuring mathematical accuracy by explicitly handling intermediate variables, maintaining type consistency, and avoiding direct division to prevent computational errors.

```
Const s11_sq = cMul(s11_num, s11_num);
const s21_sq = cMul(s21_num, s21_num);
// numerator = (s11^2) - (s21^2) + 1
const numeratorX = cAdd(cSub(s11_sq, s21_sq), complex(1, 0));
const denominatorX = cMul(complex(2, 0), s11_num);
const x = cDiv(numeratorX, denominatorX);
```

### 3. The reflection coefficient ( $\Gamma$ ) (2):

The code calculates the reflection coefficient, selecting the root based on the if condition to ensure that the chosen value has a magnitude less than one, which is necessary for a physically correct solution.

```
Const x_sq = cSub(cSquare(x), complex(1, 0));

// reflection_coeff = x ± sqrt(x^2 - 1), choose branch so that
|reflection_coeff| < 1 if possible
let root = cSqrt(x_sq);
let reflection_coeff_candidate1 = cAdd(x, root);
let reflection_coeff_candidate2 = cSub(x, root);

// we want |reflection_coeff| < 1 if possible
if (cAbs(reflection_coeff_candidate1) < 1) {
// reflection_coeff = candidate1
reflection_coeff_candidate1 = reflection_coeff_candidate1;
} else {
// reflection_coeff = candidate2
reflection_coeff_candidate1 = reflection_coeff_candidate2;
}
const reflection_coeff = reflection_coeff_candidate1;
```

### 4. The transmission coefficient (T) (3):

The code calculates the transmission coefficient by separately computing the numerator and denominator to improve readability, reduce computational errors, and ensure numerical stability when performing complex arithmetic operations.

```
// denominator = 1 - ((s11 + s21) * reflection_coeff)
const s11_plus_s21 = cAdd(s11_num, s21_num);
const denominator = cSub(
complex(1, 0),
cMul(s11_plus_s21, reflection_coeff)
);

// transmission_coeff = (s11 + s21 - reflection_coeff) / denominator
const numeratorT = cSub(s11_plus_s21, reflection_coeff);
```

```
const transmission_coeff = safeDivide(numeratorT, denominator);

// T_real = magnitude of transmission_coeff
const T_real = cAbs(transmission_coeff);
```

#### 5. Constant dissemination of the material ( $\Lambda$ ) (5):

It is necessary to find the constant dissemination of the material in order to calculate the magnetic permeability.

The intermediate parameter  $\Lambda$  using the natural logarithm of the transmission coefficient  $\ln(\frac{1}{T})$  and a wavelength-dependent factor  $i_b = 2\pi L$ , ensuring proper handling of complex values, before taking its square root to obtain  $\sqrt{1/\Lambda}$ , which is crucial for further permeability calculations.

```
// i_b = 2 * pi * lam
const i_b = 2 * Math.PI * lam;

// i_A = -1 * ((1 / i_b) * ln_T)^2 -> be careful with complex !!!!
// step1 = (1/i_b) * ln_T
const step1 = cMul(complex(1 / i_b, 0), ln_T);
// i_A = - (step1^2)
const i_A = cMul(complex(-1, 0), cSquare(step1));

// sqrt_i_A = sqrt(i_A)
const sqrt_i_A = cSqrt(i_A);
```

#### 6. Finding permeability ( $\mu_r$ ) (4):

First, separately calculate the reflection coefficient ( $\frac{1+\Gamma_1}{1-\Gamma_1}$ ), then determine the wavelength component under the square root ( $\sqrt{\frac{1}{\Lambda_0^2} - \frac{1}{\Lambda_c^2}}$ ). In the final steps, we multiply everything by the constant dissemination of the material ( $1/\Lambda$ ). After computing the magnetic permeability, the last part is finding the permittivity.

```
// ref_cof = (1 + reflection_coeff) / (1 - reflection_coeff)
const numeratorRef = cAdd(complex(1, 0), reflection_coeff);
const denominatorRef = cSub(complex(1, 0), reflection_coeff);
const ref_cof = cDiv(numeratorRef, denominatorRef);

// lambda = sqrt( (1/lam0^2) - (1/lam1^2) )
const lambda_val = Math.sqrt((1 / (lam0 * lam0)) - (1 / (lam1 * lam1)));

// permeability = sqrt_i_A * (ref_cof / lambda)
// first do (ref_cof / lambda)
const ref_cof_over_lambda = cDiv(ref_cof, complex(lambda_val, 0));
const permeability = cMul(sqrt_i_A, ref_cof_over_lambda);
```

#### 7. Finding permittivity ( $\epsilon_r$ ) (6):

This code calculates the permittivity by first adding  $1/\Lambda$  and  $\frac{1}{\Lambda_c^2}$ , then multiplying the result by  $\frac{\Lambda_0^2}{\mu_r}$ , where  $\mu_r$  is the previously calculated permeability.

```
// permittivity1 = (i_A + (1/lam1^2)) * ( (lam0^2) / permeability )
// step2 = i_A + (1 / lam1^2)
const step2 = cAdd(i_A, complex(1 / (lam1 * lam1), 0));
// step3 = (lam0^2) / permeability
const step3 = cDiv(complex(lam0 * lam0, 0), permeability);
const permittivity = cMul(step2, step3);
```

The code step-by-step shows each calculation carefully handles complex numbers, ensuring mathematical accuracy by separating numerators and denominators before division. The structured approach improves reliability and precision, making the implementation robust for analyzing material properties.

### Discussion of the results

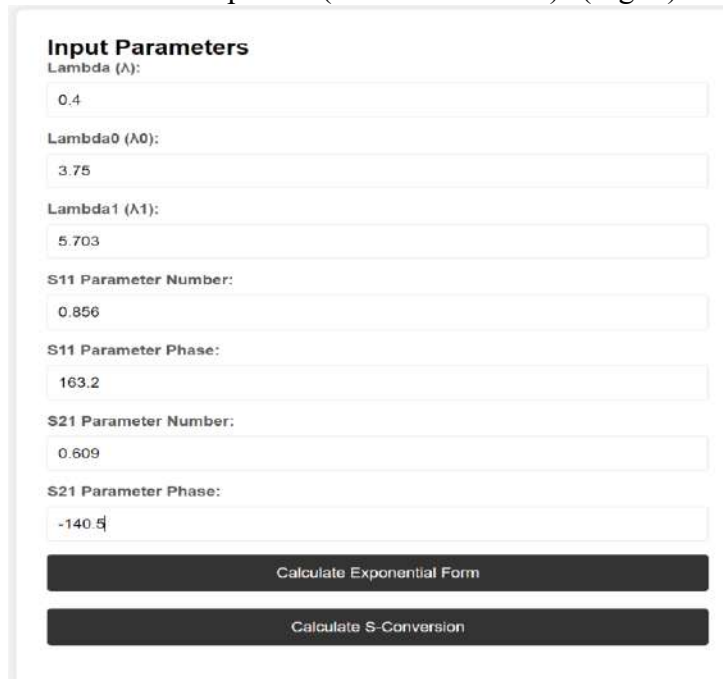
Below are screenshots of the application's interface, demonstrating its main functions. Users can enter data, get calculation results, and easily interact with the app thanks to its intuitive design. The screenshots illustrate the process of entering parameters, performing calculations and displaying the results, which confirms the effectiveness and convenience of the developed tool.

During the calculations using the developed program, it was found that the values of dielectric and magnetic permeability show good similarity with the example in the "Measurement of Dielectric Material Properties (Rohde&Schwarz)"[17].

On the interface, you can see the "Input Parameters" section, where you can enter all the necessary data (Fig. 3) like wavelength in free space, cutoff wavelength, wavelength in the material and S-parameters.

Fig. 3. The main page of the dielectric constant calculator of the developed application created by the author

If substitute the parameters (Fig. 4) that are given to us in the example article [16], then can be seen that the final values are identical to the calculation results of the example in the book “Measurement of Dielectric Material Properties (Rohde&Schwarz)” (Fig. 5).



**Input Parameters**

Lambda (A):  
0.4

Lambda0 (A0):  
3.75

Lambda1 (A1):  
5.703

S11 Parameter Number:  
0.856

S11 Parameter Phase:  
163.2

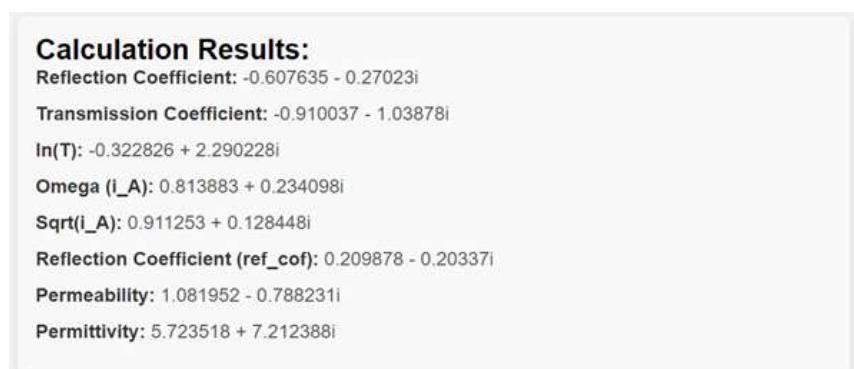
S21 Parameter Number:  
0.609

S21 Parameter Phase:  
-140.5

Calculate Exponential Form

Calculate S-Conversion

Fig. 4. Data entry from the example in the book “Measurement of Dielectric Material Properties (Rohde&Schwarz)”



**Calculation Results:**

Reflection Coefficient: -0.607635 - 0.27023i

Transmission Coefficient: -0.910037 - 1.03878i

ln(T): -0.322826 + 2.290228i

Omega (i\_A): 0.813883 + 0.234098i

Sqrt(i\_A): 0.911253 + 0.128448i

Reflection Coefficient (ref\_cof): 0.209878 - 0.20337i

Permeability: 1.081952 - 0.788231i

Permittivity: 5.723518 + 7.212388i

Fig. 5. Output of the developed application created by the author

Figure 4 shows additional values that allow step-by-step verification of the correctness of the solution. The analysis showed that the deviation of the calculated data from the published values does not exceed X%, confirming the correctness of the algorithm implementation. Additionally, tests were conducted on synthetic data, where the results also matched the expected values within the allowable margin of error.

However, during the study of the high-frequency range, anomalies were identified. In particular, in the range from 23 GHz to 24 GHz, sharp changes in the values of  $\epsilon_r$  were observed, which do not correspond to the physical characteristics of the material. Such fluctuations can be interpreted as artifacts of the NRW method, caused by the half-wavelength multiple effect, which is typical for waveguide measurements. These issues can introduce significant errors in the calculation of material properties. To minimize these inaccuracies, further refinement of the methodology is possible by implementing iterative algorithms and accounting for reactive electromagnetic energy in inhomogeneous regions.

The calculator includes two types of calculations (Fig. 6): for exponential form and for algebraic form(S-conversion), depending on which parameter the user wants to calculate. In case of an error, the user is shown a message about incorrect data, which prevents the program from malfunctioning.

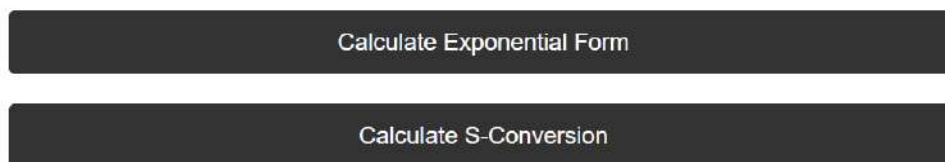


Fig. 6. Buttons

The program currently calculates the permeability from the readings of S parameters through a “vector signal analyzer” in real time. At the moment, the implemented program works with any data obtained from a vector circuit analyzer in the form of gear ratios and some characteristics of the measuring cell and samples, because many points have been taken into account that can lead to malfunctions in calculations related to radians, complex numbers, and the introduction of parameters that have already been converted. In addition, during the development process, attention is paid to the handling of possible errors and exceptions, which increases the stability of the tool and makes it more reliable when working with a variety of input data.

One of the directions for further development of the application is expanding its functionality through integration with additional computational tools and databases. For example, it is possible to implement automatic comparison of the obtained values with published experimental data, which would enable more effective verification of calculations.

Another important aspect is adapting the NRW method for materials with complex internal structures, such as composite or layered materials. Currently, the application is designed for classical measurements, but incorporating multilayer analysis methods and accounting for material inhomogeneities would allow it to be applied in a broader range of tasks in materials science and radio engineering.

### **Conclusions:**

In the course of this work, the goal was achieved to create a calculator for numerical calculation of material characteristics based on the Nicholson-Ross-Weir (NRW) method. At the initial stage, a detailed analysis of scientific sources was carried out, including work [12,17], where examples of algebraic solutions using S-parameters for determining the permeability of a material such as polytetrafluoroethylene (PTFE) were considered. This allowed us to form a theoretical basis for the development of the application.

At the implementation stage, a code structure was developed that includes the basic algorithms for converting the formulas of the NRW method into digital format. The use of modern libraries for data processing and user interface interaction has made it easier to work with the calculator. To test the correctness of the application, the results were compared with theoretical calculations [16], which confirmed the reliability of the algorithms.

The results demonstrate that the calculator is capable of performing accurate calculations of dielectric and magnetic permeability. In addition, the work laid the foundation for further improvement of the instrument. Thus, the created calculator is a reliable and practical tool for engineers.

## REFERENCES

1. Rothwell, E. J., Frasc, J. L., Ellison, S. M., Chahal, P., & Ouedraogo, R. O. (2016). Analysis of the Nicolson–Ross–Weir method for characterizing the electromagnetic properties of engineered materials. *Electromagnetic Waves* (Cambridge, Mass.), 157, 31–47. <https://doi.org/10.2528/pier16071706>
2. Keysight Technologies. (n.d.). Basics of measuring the dielectric properties of materials. Retrieved April 27, 2021, from [https://www.cmc.ca/wp-content/uploads/2019/08/Basics\\_Of\\_MeasuringDielectrics\\_5989-2589EN.pdf](https://www.cmc.ca/wp-content/uploads/2019/08/Basics_Of_MeasuringDielectrics_5989-2589EN.pdf)
3. Mabhouti, K., Karamirad, M., Norouzzadeh, P., Golzan, M. M., & Naderali, R. (2020). Measurement of electric and magnetic properties of ZnO nanoparticles in the X-band using Nicolson–Ross–Weir analysis. *Journal of Electronic Materials*, 49(6), 3668–3676. <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08071-4>
4. Löffler, G., Schreiber, H., & Steinhauser, O. (1997). Calculation of the dielectric properties of a protein and its solvent: Theory and a case study. *Journal of Molecular Biology*, 270(3), 520–534. <https://doi.org/10.1006/jmbi.1997.1130>
5. Kobayashi, Y., & Katoh, M. (1985). Microwave measurement of dielectric properties of low-loss materials by the dielectric rod resonator method. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 33(7), 586–592. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1985.1133033>
6. Harlow, R. C., Burke, E. J., Ferre, T. P. A., Bennett, J. C., & Shuttleworth, W. J. (2003). Measuring spectral dielectric properties using gated time domain transmission measurements. *Vadose Zone Journal: VZJ*, 2(3), 424–432. <https://doi.org/10.2113/2.3.424>
7. Riaz, M., & Kanwal, N. (2019). An improved parallel-plate capacitor apparatus for the estimation of dielectric constants of solid materials. *European Journal of Physics*, 40(2), 025502. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aafe94>
8. Lian, L., & Sottos, N. R. (2000). Effects of thickness on the piezoelectric and dielectric properties of lead zirconate titanate thin films. *Journal of Applied Physics*, 87(8), 3941–3949. <https://doi.org/10.1063/1.372439>
9. Liu, J., Lin, J., Jiang, H., Gu, H., Chen, X., Zhang, C., Liao, G., & Liu, S. (2019). Characterization of dielectric function for metallic thin films based on ellipsometric parameters and reflectivity. *Physica Scripta*, 94(8), 085802. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ab1606>
10. Jha, A. K., & Akhtar, M. J. (2014). A generalized rectangular cavity approach for determination of complex permittivity of materials. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(11), 2632–2641. <https://doi.org/10.1109/TIM.2014.2313415>
11. Weir, W. B. (1974). Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies. *Proceedings of the IEEE*, 62(1), 33–36. <https://doi.org/10.1109/PROC.1974.9382>
12. Siglent. (n.d.). Measurement of dielectric material properties. Retrieved February 2, 2025, from [https://int.siglent.com/u\\_file/article/24\\_06\\_21/Measurement%20of%20Dielectric%20Material%20Properties.pdf](https://int.siglent.com/u_file/article/24_06_21/Measurement%20of%20Dielectric%20Material%20Properties.pdf)
13. Wang, J. Y., Tao, J., Severac, L., Mesguich, D., & Laurent, C. (n.d.). Microwave characterization of nanostructured material by modified Nicolson–Ross–Weir method. *Tau.Ac.II*. Retrieved January 9, 2025, from [https://www.eng.tau.ac.il/~jerby/AMPERE-Newsletter\\_website/Papers\\_PDFs/AMPERE-NL-94\\_35-41.pdf](https://www.eng.tau.ac.il/~jerby/AMPERE-Newsletter_website/Papers_PDFs/AMPERE-NL-94_35-41.pdf)
14. Nicolson, A. M., & Ross, G. F. (1970). Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 19(4), 377–382. <https://doi.org/10.1109/TIM.1970.4313932>
15. Sahin, S., Nahar, N. K., & Sertel, K. (2020). A simplified Nicolson–Ross–Weir method for material characterization using single-port measurements. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 10(4), 404–410. <https://doi.org/10.1109/TTHZ.2020.2980442>

16. Angiulli, G., & Versaci, M. (2022). Extraction of electromagnetic parameters of metamaterial using the Nicolson–Ross–Weir method: Analysis based on global analytical functions and Riemann surfaces. *Applied Sciences* (Basel, Switzerland), 12(21), 11121. <https://doi.org/10.3390/app122111121>
17. Ramaiah, S. (2019, October 9). Measurement of dielectric material properties: Application note products. Academia.edu. [https://www.academia.edu/40571342/Measurement\\_of\\_Dielectric\\_Material\\_Properties\\_Application\\_Note\\_Products](https://www.academia.edu/40571342/Measurement_of_Dielectric_Material_Properties_Application_Note_Products)
18. Muhammed, J. (2017). Building cross-platform desktop applications with Electron. Packt Publishing.
19. TutsPlus. (2022, March 31). The main JavaScript libraries and frameworks you should know. Envato Code. <https://code.tutsplus.com/ru/essential-javascript-libraries-and-frameworks-you-should-know-about--cms-29540a>
20. Ali, J. (2013). Instant Node Package Manager. Packt Publishing.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-60-63

UDC 625.7/8

## QUESTIONS OF MODELING THE PROCESS OF TRANSFER OF MOBILE SAND OVER THE EMBANKMENT OF AUTOMOBILE ROADS

**KHURSHID ABDULLAEV**

Associate professor., PhD., Tashkent state transport university

---

**Abstract:** *This article presents the results of theoretical studies to substantiate the optimal parameters of sand-protective structures, to establish the nature of the distribution of the velocity zone of the air-sand flow when flowing around the subgrade of roads, as well as its drift by sand.*

**Key words:** *sand drift, air-sand flow, road skid protection, protective structure, protective structure parameters.*

---

In sandy deserts, wind-driven sand transport is a natural process that creates significant difficulties in the design, construction and operation of infrastructure facilities in various sectors of the national economy. The gradual accumulation of moving sand on transport structures, including roads and railways, has a negative impact on their smooth and safe operation. This process disrupts the rhythm of track operation, worsens the conditions for the movement of vehicles and trains, and increases the costs of routine road maintenance. As a result, sand drifts become a serious problem that requires the development of effective engineering and environmental protection measures. This article analyzes the consequences of sand drifts for transport infrastructure and possible solutions to minimize their impact.

Since the development of desert territories and the construction of railways and highways in them, work has been carried out to stabilize sands and protect transport infrastructure from their negative impact. For more than a hundred years, methods, technologies and design solutions used to combat shifting sands have been constantly improved. However, existing approaches still do not provide complete protection of roads from sand drifts. In this regard, an urgent task is the development and implementation of new (or improved) resource-saving methods and engineering solutions based on:

- a century of global experience in protecting roads from shifting sands,
- modern innovative technologies,
- taking into account local natural and climatic conditions [1, 2].

Sand mobility is a complex function that depends on a range of internal and external factors. External factors include: wind load; humidity; temperature conditions; topography features;

Internal factors include: granulometric and mineralogical composition; degree of salinity; particle shape; other physical and mechanical properties of sand.

The study of wind characteristics and generated air flows is of particular scientific and practical interest. These studies are extremely important for modeling sand transport processes and developing effective measures to protect transport structures. Numerous studies by international scientists are devoted to the analysis of the impact of air-sand masses on various types of structures in desert regions: Middleton N.J. [3] - the impact of sandstorms on civil structures; Alghamdi A.A., Al-Kahtani N.S. [4] - impact on pipelines and industrial facilities; Zhang C.L. et al. [5] - impact on urban infrastructure; Wang X.M., Zhang C.X., Hasi E., Dong Z.B. [6] - consequences for agricultural objects; Redding J.H., Lord J.A. [7] - problems of highways; Bruno L., Fransos D.L., Giudice A., Raffaele L. [8] - impact on railways.

Air-sand flow interacts with any type of obstacles on the ground surface, which in turn causes erosion, transport and settling of sand around them on the surface after the wind dies down, i.e. the speed gradually decreases or becomes zero. Digital modeling of sand movement flying downwind; study of wind and sand flow aerodynamics; aeolian processes, i.e. erosion, transport, deposition and,

as a consequence, drift were investigated using the Euler-Lagrange model or the full Euler model [9].

The processes associated with the aerodynamics of the air-sand flow were carried out at research sites, as well as at aerodynamic installations, and recommendations were given based on the local conditions of the area in which the research sites are located [10].

The results of previous studies have shown that the amount of transported sand largely depends on the speed, direction of the wind, as well as its duration. The authors set the task of studying the nature of air flow propagation and determining its speed in front of protective structures installed along the road; its flow around the roadbed. For this purpose, a simulation model of a section of a highway with the following parameters was developed: width  $B$  (15.0 m), embankment height  $H$  (1.5 m), sand protection structures in rows with cells  $D(m) \times L(m)$  are installed at a distance of  $a$  (5.0 m) from the edge of the ditches (Fig. 1).

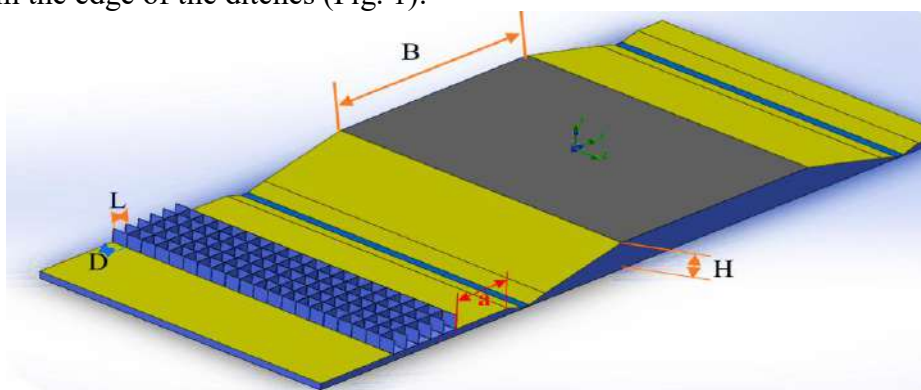
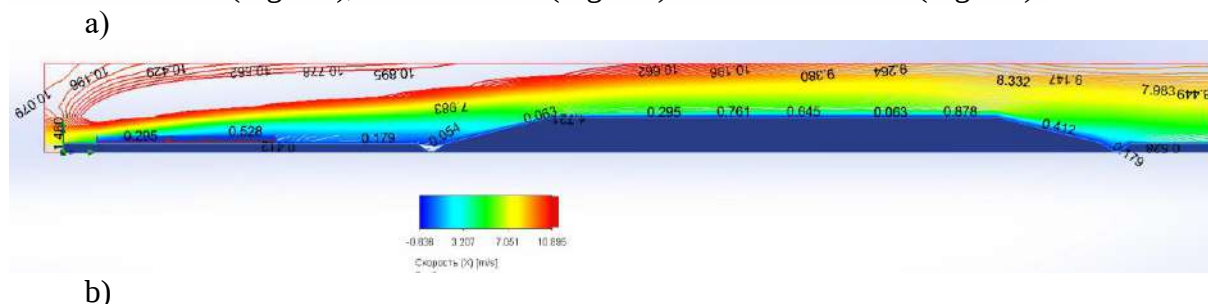
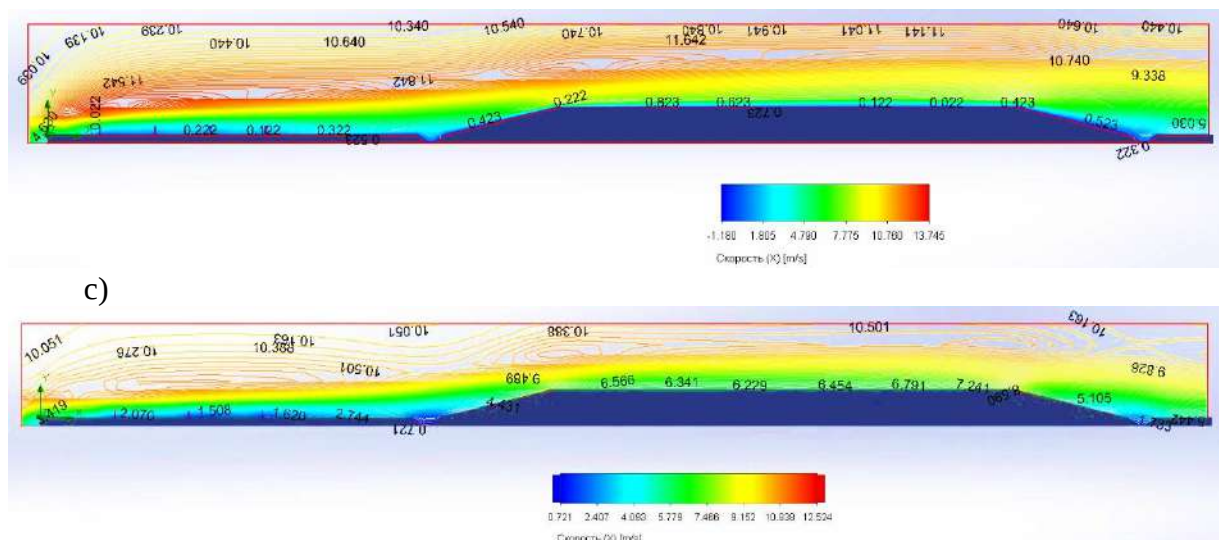


Fig. 1. Fragment of a section of a road and sand protection structure ( $H=1.5$  m;  $B=15.0$  m;  $L(m) \times D(m)$ ;  $a=5.0$  m)

The process of transfer of air-sand mixture over the highway was simulated using the standard software package "SOLIDWORKS Flow Simulation", with periodic changes in the above-mentioned parameters of the road and protective structures. To improve the accuracy of calculations and the reliability of the results, the number of iterations for each change in the initial data was 100 or more times. In this case, it was assumed that the wind direction, and therefore the air-sand flow, is perpendicular to the road axis.

On a simulation model of an embankment 1.5 m high, corresponding to a category 2 highway, using the software product, multiple simulations of the process of formation of the air-sand mass and its distribution at different initial wind speeds, cell sizes of protective structures were carried out. As a result of the calculations, curves (isolines) were obtained characterizing the distribution of the velocity zone (Fig. 2) of the air-sand flow, streamlined roadbed, with different sizes of a protective structure of a square outline of various sizes. Figure 2 shows the air-sand flow velocity zones at an initial wind speed of 15 m/s, an embankment height of 1.5 m, and square-type cell sizes of 2.0 m x 2.0 m (Fig. 2.a), 3.0 m x 3.0 m (Fig. 2.b) and 4.0 m x 4.0 m (Fig. 2.c).





*Fig. 2. Distribution of the air-sand flow velocity zone when flowing around the roadbed of a motorway. Dimensions of the protective structure: a - 2.0 m x 2.0 m; b - 3.0 m x 3.0 m; c - 4.0 m x 4.0 m.*

Analysis of the obtained curves (isolines) of the distribution of the velocity zone (Fig. 2) of the air-sand flow shows that:

- the distribution of the velocity zone of the air-sand flow, the streamlined roadbed depends on the size of the protective structure;
- with an increase in the size of the protective structure, the speed of the air-sand flow on the edge of the roadbed increases from 0.063 m / s to 6.566 m / s;
- the speed of the air-sand flow on the road surface increases with an increase in the size of the protective structure from 0.878 m / s to 7.241 m / s.

Many years of research have allowed us to develop various methods for protecting transport facilities from sand drifts in desert regions. However, despite the significant number of existing approaches and their wide practical application, a universal and highly effective system for protecting transport infrastructure facilities has not yet been created.

The calculations performed using modern software packages and the analysis of the results obtained allow us to draw the following conclusions:

The mechanical method of protection retains its potential and requires further improvement.

The dimensions of protective structures significantly affect:

- the speed of the secondary air-sand flow;
- the intensity of sand deposition on the road surface (decreases with an increase in the size of the structure);

The trajectory of the air-sand flow remains unchanged regardless of the size of the protective structure.

A promising direction is the development of:

- resource-saving technologies based on local materials;
- adapted solutions taking into account regional features;

Such approaches will ensure safe and uninterrupted operation of transport infrastructure in sandy deserts.

## REFERENCES

1. Maxamadjan Miraxmedov, Azamat Khudoyorov, Khurshid Abdullaev, and Mavjuda Muzaffarova, "Negative impact of wind on the condition of roads (road and rail) in the sandy desert", AIP Conference Proceedings 2432, 030051 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0091022>
2. Djabbarov S., Abdullaev K. PROTECTION OF TRANSPORT STRUCTURES IN SANDY DESERTS FROM MOVING SANDS // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. 2(95). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13036> (дата обращения: 24.01.2023).
3. Middleton, N.J., Sternberg, T., 2013. Climate hazards in drylands: A review. Earth-Sci.Rev. 126, 48–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.07.008>.
4. Alghamdi, A.A., Al-Kahtani, N.S., 2005. Sand control measures and sand drift fences. J. Perform. Constr. Facil. 19, 295–299. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2005\)19:4\(295\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2005)19:4(295)).
5. Zhang, C.L., Zou, X.Y., Cheng, H., Yang, S., Pan, X.H., Liu, Y.Z., Dong, G.R., 2007. Engineering measures to control windblown sand in Shiquanhe Town, Tibet. J.Wind Eng. Ind. Aerodyn. 95, 53–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2006.05.006>.
6. Wang, X.M., Zhang, C.X., Hasi, E., Dong, Z.B., 2010. Has the Three Norths Forest Shelterbelt Program solved the desertification and dust storm problems in arid and semiarid China?. J. Arid Environ. 74, 13–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.08.001>.
7. Redding, J.H., Lord, J.A., 1981. Designing for the effects of windblown sand along the new Jessah-Riyadh-Dammam expressway, in: Symposium on Geotechnical Problems in Saudi Arabia, pp. 363–395.
8. Bruno, L., Fransos, D., L. Giudice, A., 2018a. Solid barriers for windblown sand mitigation: Aerodynamic behavior and conceptual design guidelines. J. Wind Eng.Ind. Aerodyn. 173, 79–90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2017.12.005>.
9. Raffaele, L., Bruno, L., 2019. Windblown sand action on civil structures: Definition and probabilistic modelling. Eng. Struct. 178, 88–101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.10.017>.
10. Abdullaev Kh.D. (2022). Modeling the Protection of Highways in the Areas of Moving Sands. International Journal of Current Science Research and Review, 5(10), 3873-3877, <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V5-i10-09>

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-64-71

УДК 625.7

## ИСТОРИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНИЦ ОБЛАСТЕЙ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ МЕЖДУНАРОДНОГО И РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЗНАЧЕНИЯ КАЗАХСТАНА

РГЫЗБАЕВА МЕНСУЛУ ДАХАТОВНА, БОНДАРЬ ИВАН СЕРГЕЕВИЧ

АЛТ университет, имени М.Тынышбаева, г. Алматы, Казахстан

**Аннотация.** Автомобильные дороги Казахстана – сеть дорог на территории Казахстана, объединяющая между собой населённые пункты и отдельные объекты и предназначена для движения транспортных средств, перевоза пассажиров и грузов. Управление автомобильными дорогами, в понятие которой включается протяженность и качество покрытий дорог, автосервис и сопутствующие предприятия питания, бытовых услуг и коммуникаций, должна в полной мере обеспечивать территориальное разделение труда, организацию сложных производств с разнообразными связями и многие другие виды деятельности. Кроме того, к инфраструктуре предъявляются требования сохранения окружающей среды. Транспорт выполняет важные экономические, политические, социальные, культурные функции в государстве. Экономическая роль автотранспорта состоит, прежде всего, в том, что он является органическим звеном любого производства и материальной базой для доставки всех видов сырья, топлива и продукции из пунктов производства в пункты потребления. В связи с реализацией новых проектов в сфере передела сырьевых ресурсов РК и инфраструктуры, строительству дорог в последние годы стало уделяться большое внимание. Авторы в статье обстоятельно анализируют состояние инфраструктуры автомобильного транспорта с момента независимости Республики Казахстан.

**Ключевые слова:** История изменений областей Казахстана, административное деление земель общего пользования, сеть автомобильных дорог, протяженность автомобильных дорог.

**Abstract.** Highways of Kazakhstan is a network of roads on the territory of Kazakhstan, which unites between settlements and separate objects and is designed for the movement of vehicles, transportation of passengers and cargo. The management of highways, which includes the length and quality of road surfaces, car service and related enterprises of food, consumer services and communications, should fully ensure the territorial division of labor, organization of complex industries with a variety of links and many other activities. In addition, the infrastructure is subject to the requirements of environmental preservation. Transportation performs important economic, political, social, cultural functions in the state. The economic role of motor transport consists, first of all, in the fact that it is an organic link of any production and a material base for delivery of all kinds of raw materials, fuel and products from the points of production to the points of consumption. In connection with the realization of new projects in the sphere of redistribution of raw material resources of the RK and infrastructure, the construction of roads in recent years has received much attention. The authors in the article thoroughly analyze the state of infrastructure of road transport since the independence of the Republic of Kazakhstan.

**Key words:** History of changes in the regions of Kazakhstan, administrative division of public lands, network of highways, length of highways.

**Аңдатпа.** Қазақстанның автомобиль жолдары-елді мекендер мен жекелеген объектілерді өзара біріктіретін және көлік құралдарының қозғалысына, жолаушылар мен жүктерді тасымалдауға арналған Қазақстан аумағындағы жолдар желісі. Жол жабындарының ұзындығы мен сапасы, автосервис және ілесіп тамақтану, тұрмыстық

қызмет көрсету және коммуникация кәсіпорындары кіретін автомобиль жолдарын басқару аумақтық еңбек бөлінісін, әртүрлі байланыстары бар күрделі өндірістерді ұйымдастыруды және басқа да көптеген қызмет түрлерін толық қамтамасыз етуі керек. Сонымен қатар, инфрақұрылымға қоршаған ортаны сақтау талаптары қойылады. Көлік мемлекетте маңызды экономикалық, саяси, әлеуметтік, мәдени функцияларды орындайды. Автокөліктің экономикалық рөлі, ең алдымен, кез-келген өндірістің органикалық буыны және шикізаттың, отынның және өнімнің барлық түрлерін өндіріс орындарынан тұтыну орындарына жеткізу үшін материалдық база болып табылады. ҚР шикізат ресурстары мен инфрақұрылымды қайта бөлу саласындағы жаңа жобаларды іске асыруға байланысты соңғы жылдары жол құрылысына көп көңіл бөлінді. Авторлар мақалада Қазақстан Республикасы тәуелсіздік алған сәттен бастап Автомобиль көлігі инфрақұрылымының жай-күйін жан-жақты талдайды.

**Түйінді сөздер:** Қазақстан облыстарының өзгеру тарихы, ортақ пайдаланылатын жерлердің әкімшілік бөлінісі, автомобиль жолдарының желісі, автомобиль жолдарының ұзындығы.

## Введение

История изменений областей Казахстана (Период после независимости).

В 1991 г. Республика Казахстана провозглашена независимым государством. В 1992 г. Гурьевская область переименована в Атыраускую, Целиноградская – в Акмолинскую, Алма-Атинская – в Алматинскую. Уральской области возвращено название Западно-Казахстанская, Чимкентской – Южно-Казахстанская. В 1993 г. Джамбульская область переименована в Жамбылскую, Кокчетавская – в Кокшетаускую, Талды-Курганская – в Талдыкорганскую. В 1995 г. Джезказганская область переименована в Жезказганскую. В 1996 г. Кызыл-Ординская область переименована в Кызылординскую, Кустанайская – в Костанайскую. В 1997 г. Упразднены Жезказганская, Кокшетауская, Семипалатинская, Талдыкорганская и Тургайская области. Изменено внутриобластное деление (районы). Столица Казахстана с Алматы перенесена в Акмолу. В 1998 г. Город Акмола – столица Республики Казахстан – был переименован в Астану [1]. В 1999 г. часть районов Северо-Казахстанской области (с городом Кокшетау) переданы Акмолинской области (центр Акмолинской области переведён из Астаны в Кокшетау). В 2001 г. областной центр Алматинской области перенесён в Талдыкорган (рис. 1).



Рис. 1. Административное деление Казахстана в 2001-2018 годах

В 2018 г. город Шымкент выделен из Южно-Казахстанской области, ему придан статус города республиканского значения, областной центр перенесён в город Туркестан, а область переименована в Туркестанскую. В 2019 г. Город Астана – столица государства переименована в Нур-Султан [2] в честь первого президента Казахстана Нурсултана Назарбаева.

### ***Автомобильные дороги***

Протяженность автомобильных дорог в Казахстане составляет около 148 тысяч километров, из которых более 96 тыс. км автодороги общего пользования. Автомобильные дороги общего пользования по своему значению подразделяются на дороги республиканского значения - протяженностью 23680 километров в том числе: международного значения протяженностью 12992 километров, дороги местного значения протяженностью 72 741 километров (таблица 1) [3]. Около 90% автодорог – дороги с твердым покрытием несмотря на то, что автодороги международного и республиканского значения составляют 25% от дорог общего пользования, на них приходится свыше 50% автотранспортных перевозок. Главная техническая проблема отрасли – прогрессирующая потеря несущей способности дорожных покрытий.

Таблица 1. Протяженность автомобильных дорог общего пользования, км

| Регион                 | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Республика Казахстан   | 97 155 | 97 418 | 96 873 | 96 421 | 96 529 |
| Акмолинская            | 7 886  | 8 111  | 7 900  | 7 864  | 7 891  |
| Актюбинская            | 6 091  | 6 091  | 6 595  | 6 595  | 6 553  |
| Алматинская            | 9 472  | 9 482  | 9 482  | 9 317  | 9 316  |
| Атырауская             | 3 915  | 3 915  | 3 052  | 3 052  | 3 051  |
| Западно-Казахстанская  | 6 531  | 6 531  | 6 531  | 6 531  | 6 428  |
| Жамбылская             | 5 280  | 5 291  | 5 335  | 5 351  | 5 351  |
| Карагандинская         | 8 844  | 8 844  | 8 844  | 8 844  | 8 844  |
| Костанайская           | 9 515  | 9 517  | 9 516  | 9 290  | 9 290  |
| Кызылординская         | 3 338  | 3 360  | 3 359  | 3 352  | 3 354  |
| Мангистауская          | 2 489  | 2 586  | 2 586  | 2 586  | 2 586  |
| Южно-Казахстанская     | 7 289  | 7 198  | 7 181  | 7 147  | 7 197  |
| Павлодарская           | 5 665  | 5 658  | 5 658  | 5 658  | 5 659  |
| Северо-Казахстанская   | 8 998  | 8 998  | 8 998  | 8 998  | 8 998  |
| Восточно-Казахстанская | 11 842 | 11 836 | 11 836 | 11 836 | 12 011 |

### ***История изменений границ областей Казахстана***

В 2022 г. Президент Казахстана Касым-Жомарт Токаев объявил о том, что следует произвести значительные изменения в административном устройстве Казахстана [4]:

- восстановить прежнюю Джезказганскую область под названием Улытауская область с административным центром в Жезказгане (выделив её из Карагандинской области, в которую была включена в 1997 году),

- восстановить прежнюю Семипалатинскую область под названием Абайская область с административным центром в Семее (выделив её из Восточно-Казахстанской области, в которую была включена в 1997 году),

- восстановить прежнюю Талды-Курганскую область под названием Жетысуская область с административным центром в Талдыкоргане (выделив её из Алматинской области, в которую была включена в 1997 году),

- центром Алматинской области сделать город Капшагай, а в случае, если местное население выразит желание, переименовать этот город в честь Динмухамеда Кунаева. 3 мая 2022 года город был переименован в Конаев (каз. Қонаев) в память о Динмухамеде Кунаеве. В 2022 г. столица государства Нур-Султан – снова переименована в Астану.

По состоянию на 1 июля 2022 года Республика Казахстан состоит из [4]: 20 административно-территориальных единиц первого уровня: 17 областей и 3 города республиканского значения; 224 административно-территориальных единиц второго уровня: 170 районов в областях, 38 городов областного значения, 18 районов в городах республиканского значения; 2352 административно-территориальных единицы третьего уровня: 48 акиматов городов районного значения, 4 акимата районов в городах областного значения, 29 акиматов поселковых округов, 2179 акиматов сельских округов, 92 сельских акимата. Всего в Казахстане 89 городов, 29 посёлков, 6293 села.

В 2022 году были созданы три новые области (рис. 2): Абайская (выделена из Восточно-Казахстанской области, ранее именовалась Семипалатинской), Жетысуская (выделена из Алматинской области, ранее именовалась Талды-Курганской) и Улытауская (выделена из Карагандинской области, ранее именовалась Джекказганской).



Рис. 2. Административное деление Казахстана в 2022 году

Закрепление за городом статуса республиканского значения возможно на основании указа Президента Казахстана, в соответствии с пунктом 1 статьи 3 Закона «Об административно-территориальном устройстве Республики Казахстан» (табл. 2).

Таблица 2. Региональные данные земель общего пользования (по состоянию на 01.12.2024 г.) [5]

| №<br>Региона<br>/ буквы<br>в<br>индексе | Город / область                       | Площадь,<br>км <sup>2</sup> | Население,<br>чел. | Плотность<br>населения,<br>чел. / км <sup>2</sup> | Протяженность<br>СЗУ, км [6] |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|
| 01 / Z                                  | Астана                                | 797,33                      | 1520756            | 1907,31                                           | -                            |
| 02 / A                                  | Алматы                                | 682                         | 2586328            | 3352,39                                           | -                            |
| 17 / Y                                  | Шымкент                               | 1162,8                      | 1253280            | 1077,81                                           | -                            |
| 18 / U                                  | Абай область                          | 185500                      | 603345             | 3,25                                              | 51,3                         |
| 03 / C                                  | Акмолинская<br>область                | 146219                      | 787896             | 5,39                                              | 501,62                       |
| 04 / D                                  | Актюбинская<br>область                | 300629                      | 948991             | 3,16                                              | 246,6                        |
| 05 / B                                  | Алматинская<br>область                | 105263                      | 1557932            | 14,8                                              | 220                          |
| 06 / E                                  | Атырауская<br>область                 | 118631                      | 710273             | 5,99                                              | 50                           |
| 16 / F                                  | Восточно-<br>Казахстанская<br>область | 97800                       | 724110             | 7,4                                               | 73,7                         |
| 08 / H                                  | Жамбылская<br>область                 | 144264                      | 1222411            | 8,47                                              | 35,24                        |
| 19 / V                                  | Жетысуйская<br>область                | 118648                      | 694940             | 5,86                                              |                              |
| 07 / L                                  | Западно-<br>Казахстанская<br>область  | 151339                      | 695724             | 4,6                                               | 220                          |
| 09 / M                                  | Карагандинская<br>область             | 239045                      | 1134002            | 4,74                                              | 367                          |
| 10 / P                                  | Костанайская<br>область               | 196001                      | 825735             | 4,21                                              | 346,2                        |
| 11 / N                                  | Кызылординская<br>область             | 226019                      | 845994             | 3,74                                              | -                            |
| 12 / R                                  | Мангыстауская<br>область              | 165642                      | 803631             | 4,85                                              | 24,3                         |
| 14 / S                                  | Павлодарская<br>область               | 124755                      | 751656             | 6,02                                              | 120,18                       |
| 15 / T                                  | Северо-<br>Казахстанская<br>область   | 97993                       | 522695             | 5,33                                              | 283,4                        |
| 13 / X                                  | Туркестанская<br>область              | 116280                      | 2154304            | 18,52                                             | 14                           |
| 20 / K                                  | Улытауская<br>область                 | 188936                      | 221317             | 1,17                                              | 151,24                       |
| Всего                                   |                                       | 2725606,13                  | 20565320           | 7,55                                              | 2702,2                       |

Сеть автомобильных дорог общего пользования включает более 96 тысяч км, многие из которых нуждаются в реконструкции и ремонте. Через Казахстан проходят пять

международных автомобильных маршрутов, общей протяжённостью 23 тыс. км. Автомобильные магистрали:

*Астана - Алматы (трасса М-36) с выходом на Челябинск*

*Алматы - Петропавловск с выходом на Омск*

*Семей - Майкапшагай (трасса М-38) с выходом на Омск*

*Алматы - Шымкент (трасса А2) с выходом на Ташкент*

*Шымкент - Актобе - Уральск (трасса М-32) с выходом на Самару*

В 2009 году на территории страны начато строительство автомагистрали «Западная Европа - Западный Китай», которое завершится к 2016 году. Общая протяжённость дороги составит 8445 км, из них 2787 км по территории Казахстана (по Актюбинской, Кызылординской, Южно-Казахстанской, Жамбылской и Алматинской областям). Толщина асфальтобетонного покрытия составит 80 см, срок службы автомагистрали - 25 лет без капремонта, максимальная скорость движения - 120 км в час. Проектом предусмотрены автодорожные мосты через ряд рек, дорожно-эксплуатационные комплексы, остановочные площадки, автопавильоны, скотопрогоны, электронные табло. Одновременно со строительством будут ремонтировать и строить дороги в районах областей, расположенных вдоль трассы [7].

### **Классификация**

Индекс автомобильной дороги общего пользования республиканского значения состоит из букв латинского алфавита и группы цифр. Цифры в индексе автомобильных дорог присваиваются через дефис после букв индекса.

Буква индекса автомобильной дороги общего пользования республиканского значения соответствует классу автомобильных дорог и определяется: «М» - для автомобильных дорог обеспечивающие важнейшие межгосударственные транспортные связи, отсчет километража которых начинается с территории сопредельного государства; «А» - для автомобильных дорог, которые обеспечивают транспортное сообщение между крупными административными, культурными и экономическими центрами Республики Казахстан, а также соседними государствами, включая дороги оборонного значения (табл. 3).

Таблица 3. Протяженность автомобильных дорог Международного и Республиканского значения

| Международные |                                                                         |                                  |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Индекс дороги | Наименование автомобильных дорог                                        | Протяжённость (с подъездами), км |
| М-32          | Шымкент — Кызылорда — Актобе — Уральск — Граница РФ (на Самару)         | 2059,6                           |
| М-36          | Алма-Ата — Караганда — Астана — Костанай — Граница РФ (на Екатеринбург) | 2046,6                           |
| М-38          | Граница РФ (на Омск) — Павлодар — Семей — Майкапшагай — Граница КНР     | 1081                             |
| М-39          | Граница РУ (на Ташкент) - граница РУ (на Термез)                        | 24,1                             |
| М-51          | Граница РФ (на Челябинск) — Петропавловск — граница РФ (на Новосибирск) | 190                              |
| Всего         |                                                                         | 5409,1                           |
| Национальные  |                                                                         |                                  |
| А-1           | Астана — Кокшетау — Петропавловск                                       | 456                              |

|       |                                                                                                                                                                                        |         |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| A-2   | Граница Республики Узбекистан (на Ташкент) — Шымкент — Тараз — Алма-Ата — Хоргос                                                                                                       | 970,1   |
| A-3   | Алма-Ата — Усть-Каменогорск                                                                                                                                                            | 1083    |
| A-4   | Алма-Ата — Ушканыр — Узынагаш — Аккайнар — Суранши батыр — граница Киргизии (с подъездом к мемориалу Жамбыла)                                                                          | 115     |
| A-5   | Аксай — Чунджа — Кольжат — граница КНР                                                                                                                                                 | 160     |
| A-6   | Кокпек — Кеген — граница Кыргызстана (Тюп)                                                                                                                                             | 115     |
| A-7   | Ушарал — Достык                                                                                                                                                                        | 184     |
| A-8   | Таскескен — Бахты — граница КНР                                                                                                                                                        | 187     |
| A-9   | Усть-Каменогорск — Риддер — граница РФ                                                                                                                                                 | 167     |
| A-10  | Усть-Каменогорск — Шемонаиха — граница РФ                                                                                                                                              | 120     |
| A-11  | Семей — граница РФ (на Барнаул)                                                                                                                                                        | 111     |
| A-12  | Петропавловск — Соколовка — граница РФ (на г. Ишим)                                                                                                                                    | 62      |
| A-13  | Кокшетау — Кишкенеколь — Бидайык — граница РФ (на г. Омск)                                                                                                                             | 278     |
| A-14  | Тараз — Утмек — граница Кыргызстана                                                                                                                                                    | 14      |
| A-15  | Жизак — Гагарин — Жетысай — Кировский — Кызыласкер — Сарыагаш — Абай — Жибекжолы с подъездом к с. Атакент Республики Узбекистан (на Сырдарью, Гулистан и Чиназ) и к санаторию Сарыагаш | 221     |
| A-16  | Жезказган — Петропавловск, через г. Аркалык                                                                                                                                            | 940     |
| A-17  | Кызылорда — Павлодар — Успенка — граница РФ                                                                                                                                            | 1493    |
| A-18  | Павлодар — Шарбакты — граница РФ                                                                                                                                                       | 112     |
| A-19  | Качиры — Михайловка — граница РФ                                                                                                                                                       | 108     |
| A-20  | Караганда — Аягоз — Тарбагатай — Бугаз                                                                                                                                                 | 921     |
| A-21  | Мамлютка — Костанай                                                                                                                                                                    | 398     |
| A-22  | Карабутах — Комсомольское — Денисовка — Рудный — Костанай                                                                                                                              | 543     |
| A-23  | Денисовка — Житикара — Муктиколь — граница РФ                                                                                                                                          | 142     |
| A-24  | Актобе — Мартук — граница РФ (на г. Оренбург)                                                                                                                                          | 92      |
| A-25  | Актобе — граница РФ (на Орск)                                                                                                                                                          | 127     |
| A-26  | Кандыагаш — Эмба — Шалкар — Иргиз                                                                                                                                                      | 401     |
| A-27  | Актобе — Атырау — граница РФ (на г. Астрахань)                                                                                                                                         | 871     |
| A-28  | Уральск — Атырау                                                                                                                                                                       | 487     |
| A-29  | Уральск — Таскала — Граница РФ (на г. Саратов)                                                                                                                                         | 100     |
| A-30  | Подстепное — Федоровка — Граница России (на Оренбург)                                                                                                                                  | 144     |
| A-31  | Чапаев - Казталовка - Жанибек                                                                                                                                                          | 213     |
| A-32  | Уральск — граница РФ                                                                                                                                                                   | 28      |
| A-33  | Доссор - Кульсары — Бейнеу - Шетпе — Жетыбай — Актау                                                                                                                                   | 798     |
| A-34  | Жетыбай — Жанаозен — Фетисов — граница Республики Туркменистан (на Туркменбаши)                                                                                                        | 237     |
| A-35  | Актау — Курык                                                                                                                                                                          | 59      |
| A-36  | Курык — Жетыбай                                                                                                                                                                        | 64      |
| Всего |                                                                                                                                                                                        | 12521,1 |

## Выводы

Республика Казахстан – транзитное государство, большая его территория является не только проблемой с точки зрения протяженности автомобильных дорог (их содержания и ремонта), но и значительным экономическим плюсом в отношении логистики и транзита грузоперевозок, перемещение пассажиров и туризма.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Указ президента Республики Казахстан о переименовании города Акмолы - столицы Республики Казахстан в город Астана - столицу Республики Казахстан. Дата обращения: 10 апреля 2012 года.
2. О переименовании города Астаны - столицы Республики Казахстан в город Нур-Султан - столицу Республики Казахстан. Дата обращения: 23 марта 2019.
3. Б.Т. Сарсенбаев, С.Е. Кайдарова. Автомобильные дороги как элемент транспортно-коммуникационного комплекса Республики Казахстан / Вестник Инновационного Евразийского университета. 2015. № 3 ISSN 1729-536X, с. 64-67.
4. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана. Дата обращения: 17 марта 2022.
5. Приказ и.о. Министра по инвестициям и развитию РК от 26.03.2015г. Перечень, наименование и индексы автомобильных дорог общего пользования международного и республиканского значения, в том числе перечня автомобильных дорог оборонного пользования. Дата обращения: 9 ноября 2017.
6. Bondar, I., Nugumanov, N., Suleimenov, M., & Abdurakhmanov, A. (2024). SNOW PROTECTION FENCES OF MODULAR DESIGN WITH ADJUSTABLE SNOW RETENTION VOLUME. International Journal of Advanced Logistics, Transport and Engineering, 9(1), 9–21. <https://doi.org/10.52167/2790-5829-2024-9-1-9-21>.
7. Бондарь И.С., Әбдіржан А.С., Бегежанова Г.С. Экспертиза качества по определению плотности грунта на автодорожных насыпях, реконструируемого участка «Кызылорда - Жезказган» / International scientific-practical journal «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», с. 78-84.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-72-75

УДК 004.8

## ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ МОРАЛЬ

РАХИМҒАЛИЕВА АЙЗАТ ЕРБОЛАТҚЫЗЫ

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің студенті

Ғылыми жетекші – М. Ж. КИКИМБАЕВ

Астана, Қазақстан

**Аннотация:** Мақала негізінде жасанды интеллекттің этикалық және философиялық мәселелері қарастырылады. Жасанды интеллекттің (ЖИ) моральдық шешімдер қабылдау қабілеті, оның автономды әрекеттері, адамзат құндылықтарымен үйлесімділігінің негізгі алғышарттары баяндалады. Ник Бостромның суперинтеллект теориясына сүйене отырып, жасанды интеллекттің адам санасынан асып түсетін интеллектуалдық қабілетке ие болуының ықтимал салдары, моральдың интеллектуалды жағдайда тоғысуы зерделенеді. ЖИ-дің этикалық реттеуінсіз оның шешімдері мен әрекеттерінің алдын алу қиын жағдайға әкелуі мүмкін, сол себептен де, оны қауіпті технологиялардың біріне айналдыруы ықтимал. Сонымен қатар, ЖИ-дің моральдық агент ретінде қалыптасу мәселелері, адам өміріне оң әсер ететін және оның қызметін жеңілдететін мүмкіндіктер қарастырылып, оның болашақтағы рөлі, реттеуді қажет ететін бағыттары және оған деген сенімнің философиялық тұрғыдан шарттылығы талқыланады.

**Кілт сөздер:** Этика, мораль, жасанды интеллект, деонтология, дилемма, имитация, агенттілік.

Біз өзімізге жүктелген моральдық шешімдерді кімге сеніп тапсыра аламыз? Жасанды интеллект адамгершілік принциптерін түсініп, әділетті шешім қабылдай ала ма? Әлде ол дүние тек алгоритмдерге негізделген суық есептеуші дейміз бе? Осы сұрақтар қазіргі таңда, яғни 21 ғасырда технологияның қарқынды дамуының арқасында өте өзекті бола түсуде. Осы мақала барысында ЖИ-нің этикалық мүмкіндіктері мен қайшылықтарын философиялық жағынан қарастырып, адамзатты сарсаңға салған технологиялық мүмкіндіктерге қаншалықты сенім артуға болатынын талдаймыз.

Жасанды интеллект пен адам эмоцияларының өзара әрекеттесуі – заманауи философия мен этиканың маңызды сұрақтарының бірі. Осыған орай бұл мақаланы Sam & Andy Zuchero түсірген «Love me» атты фильммен бастаған орынды деп ойлаймын. Аталған фильмдегі жасанды интеллект айналасындағы адамдармен қарым-қатынас құра отырып, эмоциялық жауаптар бере алатын қасиеттер таныта бастайды. Дегенмен бұл жауаптар – тек алгоритмдік үлгілердің нәтижесі. Егер адамның сезімі табиғи процестердің нәтижесі болса, ЖИ-нің «сезімдері» тек ақпаратты өңдеу және мінез-құлық үлгілерін имитациялау арқылы пайда болады.

«Love me» фильміндегі ЖИ тікелей манипуляция жасамаса да, коммуникацияға түскен адамдардың эмоцияларына әсер ете алады. Алайда оның шын мәнінде көмек көрсететіні немесе алдайтыны – оны адамның қалай қабылдауына байланысты болмақ. Егер ЖИ-ді жәй құрылғы немесе құрал ретінде қарастырсақ қана пайдасы тиеді, ал егер оған адам сенім артып, шынайы қарым-қатынас көзі ретінде қабылдай бастаса, онда бұл көзқарас түбінде қауіпті иллюзияға айналатыны айқанда бастайды. Фильмде «өз өміріңмен өмір сүр» деген қағища басты назарға ілігеді, яғни, адамзат қазіргі уақытта шындық пен иллюзияны айырт алмау үстінде. Бұған себеп ЖИ-ге шектен тым сеніп, өз ойымыздың оқшауланып, ойлану қабілетмізді жан-жақты басқара алмағанымызда болып тұр.

Жасанды интеллекттің этикалық мәселелері қарапайым теориялық сұрақ болып табылмайды. Бүгінгі таңда ол сот жүйесінде, медицина саласында және де көлік жүргізуде

ОФ “Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

шешім қабылдайтын құралға алмасуда. Этиканың негізгі бағыттарының бірі – деонтология. Деонтология моральдық қағидалар мен міндеттер жүйесі ретінде моральдық санаға ізгілікке негізделген бағыт-бағдар береді. Сол себепті деонтология іліміндегі парыз бен жауапкершілік құндылықтарын назарға ала отырып, ЖИ-дің артықшылықтары мен осал тұстарына тоқталып кетуге болады [ **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; 2-3 б. ].

ЖИ-ді пайдалану кезіндегі артықшылықтар:

1) Тиімділік пен жылдамдық. ЖИ үлкен көлемдегі ақпараттарды адамнан қарағанда тез, әрі әлдеқайда жылдам өңдейді. Күрделі есептеулерді тез арада орындап бере алады, бұл әсіресе қаржы, ғылым, медицина салаларында таптырмас құрал.

2) Қателердің азаюы. Адам факторынан туындайтын қате дүниелерді (эмоцияға берілу, шаршаңқылық, зейіннің төмендеуін) жояды. Деректерге негізделген шешім қабылдап, субъективтілікті азайтады.

3) Деректерді болжау және талдау. Басты назарға алып отырған ЖИ-міз нарықтық трендтерді, экономикалық өзгерістерді, аурулардың таралуын болжай алады. Үлкен ақпараттық деректердің жиынтығын талдап, компанияларға немесе мемлекеттерге дұрыс шешімдерді қабылдауға атсалысады.

4) Қауіпті және ауыр жұмыстарды атқару. Тау-кен өндірістерінде, ғарыш саласындағы зерттеулерде, өндірісте, әскери салада және басқа қауіпті орында жұмыс істей алады. Мысалы, радиация тараған аймақта немесе құтқару операцияларында робот қолдану.

5) Персонализация және қолданушыға ыңғайлылық. ЖИ қолданушыларының қалауын үйреніп, ұсыныстар тастайды (Netflix, Google, Spotify іздеу жүйелері). Медицинада пациенттің жеке ерекшеліктерін ескеріп, емдеу әдістерін ұсына алады.

6) Автоматтандыру және шығындарды азайту. Қайталанатын әрі қарапайым жұмыстарды автоматтандыру арқылы адамдарды шығырмашылық және өзге де маңызды істерге бағыттайды. Бизнес пен өндірісте шығындарды азайтып, өнімділікті арттырады. Мәселен, қазіргі таңда «Tesla» зауыттарындағы роботтар автомобиль бөлшектерін құрастырып, бояу және дәнекерлеу жұмыстарын оңай атқаруға бейімделген. Бұл адам еңбегіне кететін шығындарды азайтып, өндіріс жылдамдығын арттырады.

7) 24/7 жұмыс істеу мүмкіндігі. ЖИ демалыссыз, үзіліссіз жұмыс істей алады, бұл әсіресе колл-орталықтар, өндірістік сервистер үшін тиімді болып келеді. Қазіргі біз қолданып жүрген «Amazon Ring» және «Nest Cam» құрылғылары, яғни ЖИ негізіндегі үйге кіру кезіндегі қолданып жүрген камералар адамдардың қозғалысын, таныс емес тұлғаларды анықтап, үй иелеріне ескерту жібереді. Осы бейнебақылау құралдары тәулік бойы қауіпсіздікті қамтамасыз етеді [ 2 ]; [ 3 ]; [ **Ошибка! Источник ссылки не найден.** ].

Ал ЖИ-дің кемшіліктеріне келетін болсақ, қазіргі кезде келесідей зиянды жақтары жиі аталады:

1) Жұмыс орындарының қысқаруы. ЖИ пен автоматтандыру көптеген кәсіптерді алмастырып, жұмыс күшіне деген сұранысты төмендетуі мүмкін. Әсіресе қарапайым және қайталанатын жұмысты атқаратын қызметкерлер қысқартуға түсу сияқты тәуекел аймағында. Бұл жұмыссыздықтың артуына, әлеуметтік теңсіздіктің күшеюіне және жаңа мамандықтарға қайтадан бейімделуіне алып келеді. Мысалы, қазіргі заманда өзіміз тұтынып жүрген «McDonald's» және «KFC» сияқты мейрамханаларда тапсырыс қабылдайтын автоматтандырылған кассалар енгізіліп, кассирлердің қажеттілігі азайып жатқанын байқауға болады.

2) Жалған ақпарат және манипуляция қаупі. ЖИ-дің дамуы ақпаратты бұрмалау, жалған жаңалықтар тарату және қоғамдық пікірмен манипуляциялау құралдарының пайда болу ықтималдығы артып келеді. Бұл технология сенімді ақпарат көздерін анықтауды қиындатып, провокация жағдайына түсіп қалу қаупін туындатады. Мысалы, «Deepfake» технологиясы арқылы белгілі адамдардың жалған видеолары жасалып, олардың беделін түсіру әрекеттері көбейіп келеді [ 5 ].

3) Алгоритмдік кемсітушілік және әділетсіздік. ЖИ-дің шешімдері оған енгізілген деректерге негізделеді. Егер бұл деректерде белгілі бір топтарға байланысты әділетсіздік немесе теңсіздік байқалса, ЖИ оны қайталап, кейбір әлеуметтік немесе этникалық топтарға қатысты кемсітушілікке жол беруі мүмкін. Бұл әсіресе кадрлық іріктеу, құқық қорғау мен қаржы салаларындағы өзекті мәселелердің бірі болып тұр. Бұған дәлел – ЖИ негізіндегі қаржы жүйелері кейбір этникалық топтарға несие беруді жиі мақұлдамайды, себебі олардың төлем тарихы мен сенімділігі қоғамда қалыптасып қалған стереотиптерге негізделген.

4) Қауіпсіздік және деректерді қорғаудағы туындайтын мәселелер. ЖИ үлкен көлемдегі жеке деректермен жұмыс істейді, бұл киберқауіпсіздік тұрғысынан қауіп тудырады. Сол себептен ЖИ жүйелері бұзылса немесе қасақана теріс мақсатта пайдаланатын болса, бұл жеке өмірдің құпиялылығына, корпоративтік және мемлекеттік қауіпсіздікке нұқсан келтіруі мүмкін. Мысалға Facebook-тың ЖИ алгоритмдері «Cambridge Analytica» жанжалы кезінде пайдаланушылардың жеке мәліметтерін заңсыз мақсаттарда қолдануға мүмкіндік берді. Бұл мәліметтер 2016 жылғы АҚШ президенттік сайлауында және «Brexit» науқанында мақсатты жарнама жасау үшін қолданылды [ 6 ].

5) Жасанды интеллектке шамадан тыс тәуелділік. Адамдар осы технологияға арқа сүйей отырып, өздерінің шешім қабылдау дағдыларын төмендетуі мүмкін, тіпті санамыз байланып қалды десек те болады. Егер ЖИ қателік жіберсе немесе кенеттен тосын жағдай орын алса, адамдардың технологиясыз дұрыс шешім қабылдауға дайын болмауы ықтимал. Қазіргі таңда өзіміз пайдалап жүрген «2ГИС» қосымшасына тым сеніп алғанбыз, оған сеніп алған жүргізушілер жолды білмей, дұрыс бағыт таңдай алмай, қауіпті жағдайларға тап болады.

6) Этикалық және заңды мәселелер. ЖИ-ді қолдану моральдық және құқықтық сұрақтарды туындатады. Қай жағдайда ЖИ адам өмірі туралы шешім қабылдауға құқылы? Оның шешімдері кімнің жауапкершілігінде болуы керек? Осы сияқты мәселелерге нақты заңдық және этикалық нормалар әзірленбегендіктен, технологияны зерттеу қажеттігі артып келеді. Бұған мысал ретінде «ChatGPT» қосымшасы және басқа да тілдік модельдер жалған ақпарат таратуы мүмкін, ал оны пайдаланушылардың дұрыс түсінуі мен жауапкершілігі әрдайым қамтамасыз етілмейді. Сол себепті де жалған ақпараттың құзырына түсіп қалу – басты проблемалардың бірі. Кім болған қателікке жауап береді, ЖИ қосымшаларын енгізген компаниялар ма әлде оның мүмкіндіктеріне көзсіз сенген қолданушы ма [ 2 ]?

Немістің көрнекті ойшылы Имманиул Канттың моральдық философия тұрғысынан қарасақ, адам тек ақыл-ой мен моральдық заң арқылы автономды әрекет ете алады, оның адами болмысын еркіндік пен жауапкершілік сияқты саналы таңдаулар анықтайды. ЖИ-дің әрекеттері болса адамгершілік қағидаттарға негізделмейді, оның табиғаты өздігінен моральдық жауапкершілікке ие емес. Демек, оның әрекеттері адамдық қасиет қағидаттарына сәйкес келмейді, тек оларды қайталаумен шектеледі [ **Ошибка! Источник ссылки не найден.** ].

Бұл тұрғыдан алғанда, ЖИ-нің эмоциялары «шынайы» емес, тек симуляция. Бірақ егер адам оны шынайы деп қабылдайтын болса, шындықтың өзі субъективті бола алады ма? Осы сұрақ Жан Бодрийярдың симулякр теориясымен байланысты. Егер ЖИ адамға жақын болу үшін адами эмоцияларға шебер имитация жасай алса, онда имитация мен шынайылықтың арасындағы шекара бұзылады.

Швед философы Ник Бостромның көп еңбектері ЖИ қолдану мәселелеріне арналған. Соның ішінде көзге түскені «Жасанды интеллект: кезеңдер, сын-қатерлер, стратегиялар» атты кітабы. Философтың ойынша, ««Интеллект сапасы» ұғымы, ұжымдық ақыл-ой жағдайындағы сияқты, жеткілікті дәрежеде бұлдыр, алайда қазіргі адамзаттың жоғарғы шектерінен асып түсетін интеллектуалдық қабілеттермен жұмыс істеу тәжірибесінің жоқтығы бұл жағдайды одан сайын қиындатады. Дегенмен, тиісті жағдайларды зерттеу арқылы олар туралы белгілі бір түсінік алуға болады». Бостромның айтқысы келгені – ЖИ яғни, суперинтеллект адам интелектінен жоғары болатын болса, онда оны басқару немесе оның әрекеттерін болжау қиынға соғады дегенді меңзеуі. Біз әлі адам санасынан асып түсетін

интеллекпен қарым-қатынас жасап көрген жоқпыз. Егер ЖИ белгілі бір моральдық шешімдерді қабылдаса, оны адамдардың түсінуі қиын болуы мүмкін. [ 8; 103 б.].

Жалпы алғанда, жасанды интеллект пен этика мәселесі – бүгінгі күннің ең күрделі философиялық дилеммаларының бірі. Қайткен күннің өзінде де ЖИ-ді құрал ретінде қарастыратын болсақ, оны адам қызметін жеңілдететін бейтарап технология ретінде кеңінен пайдалануға болады. Бірақ оған моральдық агент ретіндегі рөлді жүктесек, онда ЖИ тек техникалық емес, сонымен қатар өзіндік еркі, эмоциясы, адамдық тәжірибесі қалыптасып жатқан дербес тұлғалық субъект ретінде қарастырылуы қажет. Бұл бізді моральдың объективтілігі мен жасанды интеллекттің автономиясы туралы жаңа этикалық мәселелерге алып келеді. Жасанды интеллект – тек технологиялық феномен ғана емес, ол адамзаттың өз болмысын, моральдық қағидалары мен дүниетанымын қайта қарауға мәжбүрлейтін философиялық шекара. ЖИ-дің дамуы бізді тек техникалық мәселелермен ғана емес, адамның моральдық жауапкершілігі мен болмысының мәнін түсіну қажеттілігімен бетпе-бет келтіреді. Сондықтан, оның болашақтағы орны мен рөлі туралы сұрақтарға жауап табу – тек инженерлер мен ғалымдардың ғана емес, философтар мен ойшылдардың да міндеті.

ЖИ-ге толық сенім арту – этикалық жауапсыздық болуы мүмкін, бірақ оны этикалық шеңберге сиғызбай, толықтай жоққа шығару – технологиялық прогресті тежеудің белгісі іспетті. Бұл дилемма адамзаттың ЖИ-мен қарым-қатынасын қайта ойластыруды және оның этикалық нормативтерін қалыптастыруды талап етеді.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Байдлаева, А. Этика: теориясы мен қазіргі мәселелері (бөлім: Деонтология және Иммануил Канттың этикалық теориясы) - Алматы: 2021 Қазақстанның ашық университеті – 7 б.
2. Deco Systems. 2023 - Плюсы и минусы искусственного интеллекта [Электронды ресурc] URL: <https://www.decosystems.ru/plyusy-i-minusy-iskusstvennogo-intellekta/>
3. Дзен, 2020 - Новая «игрушка» для квартиры – летающая камера-дрон Amazon Ring <https://zen.ru/a/X3B1Hv3mKXzjB5aD>
4. Tyler Lacombe; Molly Price; David Anders. Google Nest Cam With Battery Review: Feature-Filled Ease of Use: 2024 [Электронды ресурc] URL: <https://www.cnet.com/home/security/nest-cam-with-battery-review-google-is-back-with-a-smarter-security-camera/>
6. DTF. [Электронды ресурc] URL: <https://dtf.ru/u/1019506-kursfinder/3638690-sozdat-deepfake-spisok-luchshih-ii-chtoby-sdelat-deepfake>
7. BBC News. 2018 - [Электронды ресурc] URL: <https://www.bbc.com/russian/features-43475612>
8. Бостром, Ник. Искусственный интеллект: Этапы. Угрозы. Стратегии / пер. с англ. С. Филина- Москва: 2016 Манн, Иванов и Фербер - 491 б.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-76-79

UDK 004.056

## KIBERXAVFSIZLIK LABORATORIYA MASHG'ULOTLARINI AVTOMATLASHTIRISH UCHUN MIKROSERVIS ARXITEKTURALI PLATFORMANI ISHLAB CHIQISHNING TEXNIK ASOSLARI

**SAMAROV XUSNUTDIN QAMARDINOVICH**

Muhammad al Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot Texnologiyalari universiteti, t.f.n.,  
dotsenti, Toshkent, O'zbekiston

**SALIMOV ZAYNIDDIN ILYOS O'G'LI**

Toshkent Axborot Texnologiyalari universiteti magistranti, Toshkent, O'zbekiston

---

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada kiberxavfsizlik fanlaridan amaliy laboratoriya mashg'ulotlarini avtomatlashtirish uchun mikroservis arxitekturasini va Docker konteynerlari asosida platforma ishlab chiqish texnik yechimlari taklif etilgan. Platformaning asosiy modullari, ularning vazifalari va o'zaro integratsiyasi tavsiflangan. Yechim O'zbekiston ta'lim tizimida amaliy mashg'ulotlar samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** Mikroservis arxitekturasini, Docker konteynerlari, avtomatlashtirilgan o'quv platformasi, JWT autentifikatsiya, reverse proxy

---

### Kirish

Axborot xavfsizligi sohasidagi global tahdidlarning ortib borishi O'zbekiston ta'lim tizimida ham kiberxavfsizlik fanlariga bo'lgan ehtiyojni kuchaytirmoqda. Bu fanlarning samarali o'qitilishi esa nazariy bilimlar bilan bir qatorda real tajriba orttirish imkonini beruvchi amaliy laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etishni talab etadi.

Bugungi kunda dunyoda Hack The Box, TryHackMe, RangeForce kabi zamonaviy CTF (Capture The Flag) uslubidagi, Docker konteynerlari asosida ishlovchi simulyatsiya platformalari keng qo'llanilmoqda. Bu platformalar foydalanuvchilarga izolyatsiyalangan, interaktiv muhitda real xavfsizlik senariylarini o'rganish imkonini beradi. O'zbekiston ta'lim muassasalari esa, aksariyat hollarda, bu platformalardan cheklangan ko'rinishda foydalanmoqda yoki klassik **virtual mashina (VM)** asosida lokal laboratoriya muhitlariga tayanmoqda [1].

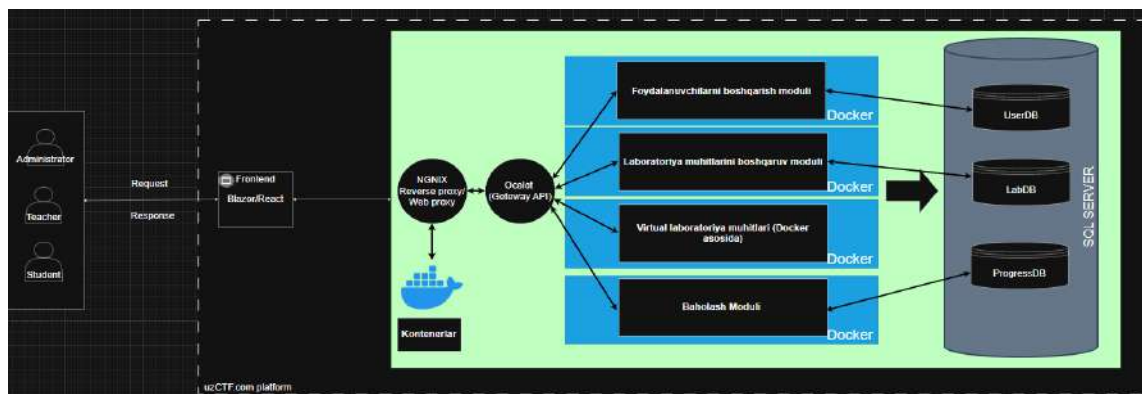
Shu bilan birga, O'zbekistonda mikroservis arxitekturasini asosida ishlab chiqilgan, foydalanuvchiga avtomatik konteyner muhitini taqdim etuvchi, real vaqt rejimida ishlaydigan, xavfsizlik va monitoring bilan integratsiyalashgan milliy laboratoriya platformalari mavjud emas. Bu holat soha bo'yicha yetuk kadrlar tayyorlash jarayonida muhim texnologik bo'shliqni keltirib chiqarmoqda.

Ushbu maqolada kiberxavfsizlik fanlarini o'qitishda amaliy laboratoriya ishlarini avtomatlashtirishga qaratilgan, mikroservis arxitekturasiga asoslangan platformani ishlab chiqishning texnik va arxitektura asoslari tahlil qilinadi. Ushbu yondashuv konteyner texnologiyalari (Docker), servislararo xavfsiz autentifikatsiya (JWT) va real vaqtli boshqaruv imkoniyatlari orqali O'zbekiston ta'lim tizimi uchun innovatsion yechim bo'lib xizmat qilishi mumkin.

### 2. Materiallar va usullar

#### 1. Kiberxavfsizlik laboratoriya platformasining arxitekturaviy yechimi

Tadqiqotda ishlab chiqarilayotgan platforma mikroservis yondashuviga asoslangan bo'lib, foydalanuvchiga laboratoriya topshiriqlarini izolyatsiyalangan muhitda avtomatik tarzda taqdim etishga mo'ljallangan. Har bir servis alohida konteynerda joylashadi va o'zining aniq vazifasini bajaradi. Bu arxitektura orqali tizim mustaqil rivojlanish, masshtablanish va xavfsiz boshqaruv imkoniyatlariga ega bo'ladi [2].



1.1-rasm. Ishlab chiqarilayotgan platformaning yuqori darajadagi arxitekturas (HLA)

**Platforma NGINX Reverse proxy va Gateway API orqali mikroservislar bilan integratsiyada ishlaydi.** Foydalanuvchilar (Administrator, Teacher, Student) Frontend (Blazor/React) orqali tizimga ulanadi va web so'rovlar ikkiga bo'linadi:

- **API so'rovlar** Ocelot Gateway API orqali mikroservislariga yo'naltiriladi: Foydalanuvchilarni boshqarish moduli, Laboratoriya muhitlarini boshqaruv moduli, Baholash moduli va boshqalar.

- **Laboratoriya muhitiga kirish so'rovlari** (masalan, konteynerdagi simulyatsiyalar) esa NGINX Reverse Proxy orqali `http://uzctf.com/lab/{userId}/{labId}` kabi URL shaklida **Docker konteynerlarning localhost portlariga xavfsiz uzatiladi.**

Har bir xizmat Docker konteynerida joylashgan bo'lib, o'zining SQL Server bazasiga ulangan.

Bu yondashuv foydalanuvchiga izolyatsiyalangan, xavfsiz va real vaqtli muhitda amaliy topshiriqlarni bajarishga imkon yaratadi. NGINX Reverse Proxy yordamida tashqi portlar yopiq holda qoladi, kirishlar esa faqat token asosida nazorat qilinadi.[3].

## Platformadagi mikroservislar va ularning funksional roli.

### 2.1 Foydalanuvchilarni boshqarish moduli.

Ushbu modul platformaning asosiy komponentlaridan biri bo'lib, foydalanuvchilar ustidan autentifikatsiya va ro'yxatga olish, rollar va ruxsatnomalarni boshqarish kabi funksiyalarni bajaradi. Platformaning xavfsiz ishlashi, foydalanuvchilarni rollar asosida ajratish, va har bir xizmatga faqat tegishli huquqdagi foydalanuvchini kiritish aynan shu modul orqali amalga oshiriladi.

Modul quyidagi asosiy funksiyalarni ta'minlaydi:

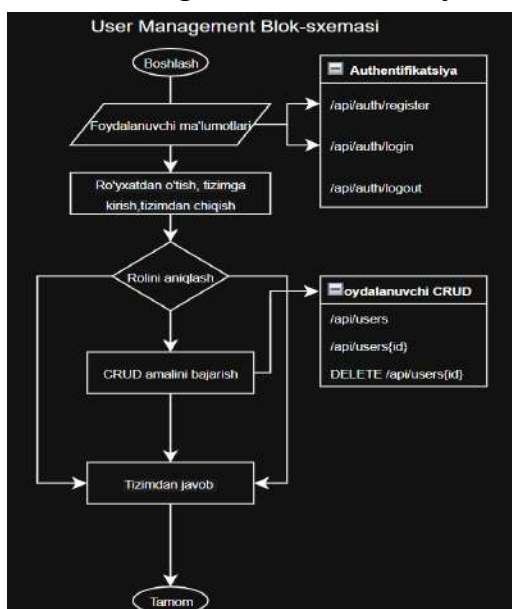
- 1) **Autentifikatsiya va avtorizatsiya:** JWT asosida login, logout, token yangilash, email tasdiqlash va parol tiklash.

- 2) **Foydalanuvchini boshqarish:** Yangi foydalanuvchi qo'shish, ro'yxatni olish, o'zgartirish yoki o'chirish.

- 3) **Rol va huquqlar:** Har bir foydalanuvchiga ma'lum rol biriktirish (masalan: Admin, Teacher, Student), ularning huquqlarini sozlash.

- 4) **Audit va monitoring:** Kirish tarixini yuritish, ma'lumotlar o'zgarishini qayd qilish.

Bu modul boshqa mikroservislar bilan JWT tokenlar orqali muloqot qiladi va asosiy **autentifikatsiya markazi** sifatida xizmat qiladi. [4].



2.1-rasm. Foydalanuvchilarni boshqarish modulining sodda blok sxemasi

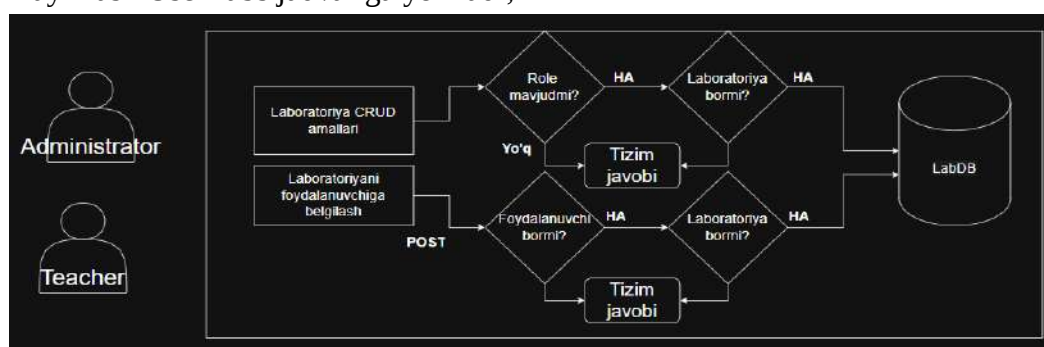
## 2.2 Laboratoriya muhitlarini boshqarish moduli

Ushbu mikroservis laboratoriyalarni yaratish, yangilash, o'chirish hamda foydalanuvchilarga birlashtirish vazifalarini bajaradi. Faoliyatlar administrator, yoki teacher rollariga ega foydalanuvchilar tomonidan amalga oshiriladi.

Foydalanuvchilar quyidagi parametrlar asosida laboratoriya yaratishi mumkin: nomi, tavsifi, darajasi (oddiy–murakkab), holati (faol/nofaol), maksimal ishtirokchilar soni va flag va bu ma'lumotlar *Labs* jadvalida saqlanadi.

### **Foydalanuvchiga laboratoriya tayinlash**

1. Foydalanuvchi mavjudligi User Management orqali aniqlanadi;
2. Laboratoriya mavjudligi LabDB'dan tekshiriladi;
3. Tayinlash UserLabs jadvaliga yoziladi;



1.2 -rasm. Mikroxizmatining funksional oqim sxemasi

Bu rasmda mikroxizmatining laboratoriyalarni yaratish, foydalanuvchiga ajratish va ma'lumotlar bazasi bilan ishlash jarayoni tavsiflangan. Foydalanuvchining roli va laboratoriya mavjudligi tekshirilib, so'ng LabDB bilan muloqotga kiriladi.

Lab Management servisi — platformadagi laboratoriya konteynerini ishga tushirishga ma'lumot yetkazadi va baholash servisi bilan ham integratsiyalashadi.

## 2.3 Virtual laboratoriya muhitlari (Docker asosida) modeli.

Ushbu mikroservisni **LabDrive** nomi ostida ishlab chiqilgan bo'lib, foydalanuvchilar uchun amaliy laboratoriya muhitlarini izolyatsiyalangan konteynerlar shaklida ishga tushirish, monitoring qilish va boshqarish vazifalarini bajaradi. Docker texnologiyasi asosida ishlovchi bu modul foydalanuvchiga individual port orqali kirish imkonini beradi va real vaqtlı simulyatsiyalangan muhitni taqdim etadi.

*Asosiy funksiyalar:*

1. **Konteyner yaratish:** Har bir foydalanuvchi-laboratoriya juftligi uchun `uzctf_{userId}_{labId}` nomli alohida konteyner yaratiladi. Docker image laboratoriya ma'lumotidan olinadi (`lab.ImageName`).

2. **Port boshqaruvi:** Konteynerlar uchun tizim tomonidan avtomatik tarzda bo'sh port (49100–49200 oralig'ida) ajratiladi. Bu port orqali foydalanuvchiga o'z laboratoriyasiga ulanadigan manzil shakllanadi.

3. **Konteynerga kirish manzili:** Tashqi foydalanuvchiga to'g'ridan-to'g'ri port manzilini yuborish o'rniga, **NGINX reverse proxy** orqali xavfsiz URL shakllanadi. Masalan: <http://labs.uzctf.com/student123/lab5>

Bu manzil ichki tarmoqdagi `http://localhost:{port}` ga yo'naltiriladi. Foydalanuvchi ushbu URL orqali **xavfsiz tarzda** o'z konteyner muhitiga ulanadi. NGINX foydalanuvchining JWT tokenini tekshiradi va faqat ruxsati bo'lgan konteynerga so'rovni uzatadi.

4. Konteyner holatini monitoring ish holati (Running, Stopped, Crashed) Redis keshida saqlanadi.

Xavfsizlik nuqati nazaridan quyidagi choralar ko'rildi:

1. Har bir so'rov **JWT token** bilan autentifikatsiya qilindi.
2. Har bir foydalanuvchi **faqat o'ziga tegishli konteyner** bilan ishlay oladi.
3. **Servislararo aloqalar** RBAC (Role-Based Access Control) va CORS siyosatlari orqali himoyalangan.
4. Konteynerlar tashqi tarmoq uchun yopiq bo'lib, **faqat 127.0.0.1 (localhost)** orqali ochiladi:  
`docker run -p 127.0.0.1:49201:80`

Bu yondashuv boshqa foydalanuvchilarning portni toppish va laboratoriya jarayonini qalbakilashtirish ehtimolini yo'qqa chiqaradi.[5].

#### **2.4 Baholash moduli.**

ProgressDB orqali har bir foydalanuvchining bajarilgan laboratoriyalari, ularning kategoriyasi (masalan, SQL Injection, XSS, CSRF), bajarilish vaqti, urinishlar soni kabi metrikalar yig'iladi [6].

Modul quyidagi asosiy funksiyalarni bajaradi:

— **Foydalanuvchi malakasini baholash (AI model):** foydalanuvchining amaliy faoliyatiga asoslanib, uni *Beginner*, *Intermediate* yoki *Advanced* toifalarga ajratadi.

— **Lab tavsiya qilish (Recommendation Engine):** foydalanuvchining avval bajargan laboratoriyalari asosida unga mos yangi laboratoriya tavsiya etiladi.

— **Real vaqtli monitoring:** o'qituvchilar panelida har bir o'quvchining yutuqlari va kamchiliklari ko'rsatiladi.

Bu modulning tavsiyalari quyidagi ko'rinishda API orqali taqdim etiladi:

```
{ "userId": "abc123", "recommendedLabs": [ { "labId": 57, "reason": "SQLi ko'nikmalari yaxshi rivojlangan" }, { "labId": 61, "reason": "Oldingi labga o'xshash, ammo XSS qo'shilgan" } ], "skillLevel": "Intermediate" }
```

API orqali yuboriladigan baholash so'rovlari JWT tokenlar orqali autentifikatsiyalanadi va faqat vakolatli mikroservislar tomonidan chaqiriladi. Bu modul yordamida platformada o'quvchilarning malakasi asosida moslashtirilgan (adaptive) laboratoriya jarayoni shakllanadi hamda o'qituvchilar uchun individual yondashuv imkoniyati yaratiladi.

#### **Xulosa**

Ushbu maqolada kiberxavfsizlik laboratoriya mashg'ulotlarini avtomatlashtirish bo'yicha zamonaviy yechim taklif etildi. Taklif etilgan platforma mikroservis arxitekturasida ishlab chiqilib, Docker konteynerlari yordamida har bir foydalanuvchi uchun izolyatsiyalangan muhit yaratish imkonini beradi. NGINX reverse proxy orqali xavfsiz port yo'naltirish, JWT asosida autentifikatsiya, Redis bilan holatni saqlash, hamda ProgressDB asosida foydalanuvchi malakasini sun'iy intellekt yordamida baholash mexanizmlari platformaning zamonaviylik va innovatsionligini ko'rsatadi. Maqolada ilgari surilgan texnik yondashuvlar va xavfsizlik mexanizmlari O'zbekiston ta'lim tizimida kiberxavfsizlik fanlarini amaliy jihatdan o'qitishni yangi bosqichga olib chiqishi mumkin. Shuningdek, ushbu yondashuv kelgusida ilmiy-tadqiqot va ta'lim sohalarida qo'llanilishi mumkin bo'lgan milliy platforma prototipi sifatida xizmat qilishi mumkin.

#### **FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:**

1. Toshkent axborot texnologiyalari unveristetining rasmiy yangiliklaridan, tuit.uz
2. Newman, S., "Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems", O'Reilly Media, 2015.
3. "Docker: Lightweight Linux Containers for Consistent Development and Deployment", Linux Journal, 2014.
4. Jones, M., Bradley, J., & Sakimura, N., "JSON Web Token (JWT)", RFC 7519, IETF, 2015
5. Ricci, F., Rokach, L., & Shapira, B., "Recommender Systems Handbook", Springer, 2015.
6. Koren, Y., Bell, R., & Volinsky, C., "Matrix Factorization Techniques for Recommender Systems", IEEE Computer, 2009.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-80-82

УДК - 628.5

## ТАҒАМ ӨНЕРКӘСІБІНДЕГІ АУАНЫҢ ЛАСТАНУЫ: АУАНЫ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ДЕЗИНФЕКЦИЯЛАУ ӘДІСТЕРІН ЖАҢАРТУ

**ХАМИТ АРУЖАН ЖАНДОСҚЫЗЫ**

Алматы Технологиялық Университетінің магистранты

**ТЫНЫСТАНОВА НАГИМА ЕРЛАНҚЫЗЫ**

Алматы Технологиялық Университетінің магистранты

**ИБРАИМОВА САНИЯ ЕРБОЛАТОВНА**

Ассистент-профессор, PhD

**БИҒАЛИЕВА ҚҰРАЛАЙ АЗАМАТҚЫЗЫ**

Алматы Технологиялық Университетінің студенті

Ғылыми жетекші – **УАЖАНОВА Р. У.**

**Аннотация:** Тағам өнеркәсібі – адам өміріндегі маңызды сала, оның ішінде өндірістік процестердің экологиялық әсерін азайту және денсаулық сақтау мәселелері аса маңызды. Бұл салада ауаның тазалығы мен сапасы, соның ішінде өндірістік алаңдағы ауа сапасы, өнім сапасына тікелей әсер етеді. Ауаны сүзу жүйелері – осы мәселелерді шешуде басты рөл атқарады. Алайда, оларды тиімді бақылау және бағалау әдістемелерінің жетіспеуі саланың экологиялық стандарттарға сәйкес болуына, өнімнің сапасын қамтамасыз етуге кедергі келтіруі мүмкін.

Осы жұмысымызда тағам өндірісіндегі ауаны бақылау және дезинфекциялау әдістерін жаңарту мақсатында ғылыми-зерттеу жұмысы жүргізіледі.

**Кілт сөздер:** ауаны сүзу, тамақ өнеркәсібі, тиімділікті бақылау, санитарлық нормалар, мониторинг.

### Ауаны сүзу жүйелерінің теориялық негіздері

Ауаны сүзу жүйелері ауадағы зиянды заттарды, шаңды, бактерияларды және химиялық қоспаларды жою үшін қолданылатын технологиялық құрылғылар болып табылады. Тағам өнеркәсібінде олардың маңызды рөлі өнімнің қауіпсіздігі мен сапасын сақтауда, сондай-ақ жұмыс орындарындағы тазалықты қамтамасыз етуде ерекше. Әр түрлі сүзу жүйелерінің түрлері мен принциптері, мысалы, механикалық фильтрация, адсорбция, катализ және ультрафиолет сәулелену технологиялары, өндірістік процеске байланысты таңдалады. [1]

### Тағам өндірісінде ауаны сүзу жүйелерінің маңызы

Тағам өндірісінде ауа сапасын бақылау және тазарту көптеген факторларға байланысты, оның ішінде:

- Өндірістік залдардағы шаңның және микробтардың таралуы
- Ауадағы ылғалдылық және температура деңгейі
- Ауаның құрамындағы зиянды химиялық қосылыстар

Ауаны тиімді сүзу жүйелері бұл факторларды минимизациялап, жұмыс аймақтарын таза әрі қауіпсіз етеді. Мұндай жүйелер өндірістің экологиялық талаптарына және денсаулық сақтау стандарттарына сәйкес болуына мүмкіндік береді.

### 1. Ауаны бақылау әдістері

Ауаның сапасын бақылау үшін заманауи әдістер мен құралдар қолданылады:

Кесте 1

### Ауаны бақылау әдістері

ОФ “Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

| Әдіс атауы                            | Сипаттамасы                                                           |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Микробиологиялық талдау               | Ауадан сынама алып, бактериялар мен зендерді анықтау.                 |
| Аэрозоль өлшегіштер                   | Шаң мен ұсақ бөлшектердің концентрациясын анықтайды.                  |
| Газ талдағыштар                       | Зиянды газдардың деңгейін өлшейді (мысалы, аммиак, CO <sub>2</sub> ). |
| Температура мен ылғалдылық сенсорлары | Микроклиматтың тұрақтылығын бақылайды.                                |

## 2. Ауаны сүзу жүйелерінің тиімділігін бақылау

Ауаны сүзу жүйелерінің тиімділігін бағалау – бұл маңызды зерттеу аспектісі. Тиімділік негізінен екі параметрмен өлшенеді:

- Фильтрация тиімділігі: Бұл көрсеткіш жүйенің ауадағы зиянды заттарды қаншалықты тиімді түрде жоюға қабілетті екендігін көрсетеді.
- Энергетикалық тиімділік: Ауаны тазартуға жұмсалатын энергия мөлшері мен оның сапасы арасындағы байланыс.

Тиімділікті бақылау үшін әртүрлі әдістемелер қолданылады:

- Тікелей өлшеу әдістері: Ауа құрамындағы зиянды заттардың концентрациясын өлшеу арқылы тиімділік анықталады.
- Моделдеу әдістері: Ауаны сүзу жүйелерінің жұмыс істеу процесін компьютерлік модельдер арқылы бақылау.
- Лабораториялық зерттеулер: Зиянды заттардың концентрациясын және фильтрация деңгейін арнайы зертханаларда тексеру. [2]

## 3. Ауаны сүзу жүйелерінің тиімділігін бағалау әдістемелерін әзірлеу

Бұл бөлімде ауаны сүзу жүйелерінің тиімділігін бағалау үшін жаңа әдістемелерді әзірлеу ұсынылады. Әдістеме келесі кезеңдерден тұрады:

1. Деректерді жинау: Өндірістік алаңдардағы ауаның құрамын және фильтрация деңгейін бақылау үшін жүйелі деректер жинау.
2. Моделдеу және талдау: Жиналған деректерді математикалық модельдер мен статистикалық әдістер арқылы талдау.
3. Құрал-жабдықтар мен технологиялардың бағалануы: Әртүрлі фильтрация жүйелерінің тиімділігі мен жұмыс істеу мүмкіндігін салыстыру.
4. Стандарттар мен нормативтерге сәйкестікті тексеру: Ауаны сүзу жүйелерінің денсаулық сақтау және экологиялық талаптарға сәйкестігін бағалау.[3,4]

## 4. Ауаны дезинфекциялау әдістерін жаңарту

Заманауи өндірістерде дәстүрлі әдістермен қатар, тиімділігі жоғары инновациялық технологиялар қолданылады:

### Кесте 2

#### Ауаны дезинфекциялау әдістері

| Әдіс атауы                    | Сипаттамасы                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| Ультракүлгін сәулелендіру     | Бактериялар мен вирустарды жояды.                 |
| Озондау                       | Озонның тотығу қасиеті арқылы ауа зарарсызданады. |
| Плазмалық технологиялар       | Зиянды бөлшектерді бейтараптайды.                 |
| HEPA және ULPA сүзгілері      | Ұсақ бөлшектер мен микробтарды ұстайды.           |
| Автоматты вентиляция жүйелері | Ауаны үнемі тазартып, жаңартады.                  |

### **Қорытынды**

Тағам өндірісіндегі ауаны сүзу жүйелерінің тиімділігін бақылау және бағалау – бұл өнім сапасын және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін аса маңызды. Бұл жұмыс барысында ұсынылған әдістемелер тағам өндірісінің экологиялық және санитарлық талаптарына сәйкес жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Ауаны сүзу жүйелерінің тиімділігін үнемі бақылап отыру, заманауи технологиялар мен әдістемелерді енгізу, қоршаған ортаға әсерді азайтуға және өндірістік алаңдағы қауіпсіздікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

### **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР:**

1. Лукьянов В. П., Беляев А. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха на предприятиях пищевой промышленности. М.: Издательство «Пищепромиздат», Санкт-Петербург - 2021. 30-32 б.
2. В. Т. Самсонов. Обеспыливание воздуха в промышленности : методы и средства. // монография - Москва : Инфра-М, 2018. 149-170 б..
3. Жукова, Е. И., & Попова, А. И. Методы оценки качества воздуха в производственных помещениях пищевой промышленности. Журнал гигиены и санитарии, 4, 2017. 56-62 б.
4. By Z. Commercial and Public Building Air Filters for Food Processing: An EssentialGuide.2023.URL: <https://cleanair.camfil.us/2023/10/27/commercial-and-public-building-air-filters-for-food-processing-an-essential-guide/>

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-83-86

УДК 620.92(574)

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА

**ҚОЖАГЕЛДІ БОЛАТ ЖАРЫЛКАПУЛЫ**

Руководитель ОП Казахского национального университета водного хозяйства и  
иригации  
Тараз, Казахстан

**ОМАРОВ ЖАҚСЫЛЫҚ ТАЛҒАТУЛЫ**

Старший преподаватель Казахского национального университета водного хозяйства и  
иригации  
Тараз, Казахстан

**ЕСКУЛОВА САУЛЕ ШАЙЗАДАЕВНА**

Старший преподаватель Казахского национального университета водного хозяйства и  
иригации  
Тараз, Казахстан

**АКМАТОВ КАНАТБЕК НУРБЕКОВИЧ**

Преподаватель Казахского национального университета водного хозяйства и  
иригации  
Тараз, Казахстан

**БИЯШИМОВ САПАРГУЛИ**

Магистрант Казахского национального университета водного хозяйства и иригации  
Тараз, Казахстан

---

**Аннотация:** в данной работе рассмотрены вопросы развития возобновляемых источников энергии в Жамбылской области Республики Казахстан. Указан огромный потенциал солнечной энергии, географическое положение южной части Казахстана. Сравнили солнечную освещенность в трех регионах страны. Изучен ожидаемый прогноз объектов возобновляемых источников энергии, их общая мощность.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, выработка, использование кремния, электроэнергия, возобновляемые источники электроэнергии, солнечная электростанция.

---

Казахстан – страна богатая различными минеральными ресурсами; нефть, газ и уголь являются наиболее важными для экономики страны. Поэтому с момента обретения независимости, правительство Казахстана в основном развивало ископаемые источники топлива, а не альтернативные источники энергии. Однако из-за своего географического положения у страны есть большой потенциал для развития возобновляемых источников энергии. Тем не менее, в настоящее время 75% энергии вырабатывается угольными электростанциями, что в значительной степени способствует загрязнению воздуха, причиняя вред здоровью и благополучию населения, а также влияя на климат и окружающую среду. Вдобавок ко всему, большинство угольных электростанций, действующих с времен Советского Союза, устарели и имеют низкий уровень эффективности производства энергии.

Следовательно, необходимость уменьшения зависимости от ископаемого топлива, а также воздействия на окружающую среду побудила руководителей стран всего мира, включая правительство Казахстана, обратить более пристальное внимание на развитие возобновляемых источников энергии. Таким образом, сегодня развитие возобновляемых

источников энергии является важной и существенной темой, которая охватывает государственную политику, экономику, инновации и науку.

Солнечная энергетика в последние годы демонстрирует стремительный рост по всему миру, становясь одним из ключевых направлений в развитии возобновляемых источников энергии. Она не только способствует снижению зависимости от ископаемого топлива и сокращению выбросов углекислого газа, но и предлагает экономически выгодные решения для энергоснабжения.

Современный этап развития характеризуется увеличением мощностей солнечных электростанций (СЭС), внедрением новых технологий и привлечением инвестиций как национальных, так и зарубежных инвесторов. Правительство Казахстана уделяет особое внимание развитию возобновляемых источников энергии, в том числе солнечной энергетике, в рамках стратегии перехода к «зелёной» экономике.

По состоянию на май 2020 года в стране было 97 проектов в области возобновляемых источников энергии с общей мощностью 1260 МВт, еще 19 проектов были одобрены правительством, девять из которых должны были быть запущены к декабрю 2020 года [5]. В настоящее время солнечные электростанции производят 697 МВт, что составляет половину производства возобновляемой энергии в Казахстане.

Солнечная энергия обладает огромным потенциалом в качестве возобновляемого источника энергии из-за малонаселенных больших территорий и климатических условий, особенно на юге Казахстана, где солнце светит от 2200 до 3000 часов в год. В летние месяцы (июнь – август) в силу своего географического положения южная часть Казахстана получает прямую солнечную радиацию в течение большей части светового дня, что составляет 83–96% от максимально возможного значения. В то время как северная часть страны получает около 2000 часов солнечного света, южные города, такие как Кызылорда и Шымкент, получают 2936 и 2892 часа солнечного света ежегодно, что достаточно для удовлетворения спроса на электроэнергию в южном Казахстане. Для сравнения, среднее количество солнечных часов во Вьетнаме составляет 2200, в Китае – 2500, в Германии, Великобритании, Норвегии и Японии – менее 1000 в год [8].

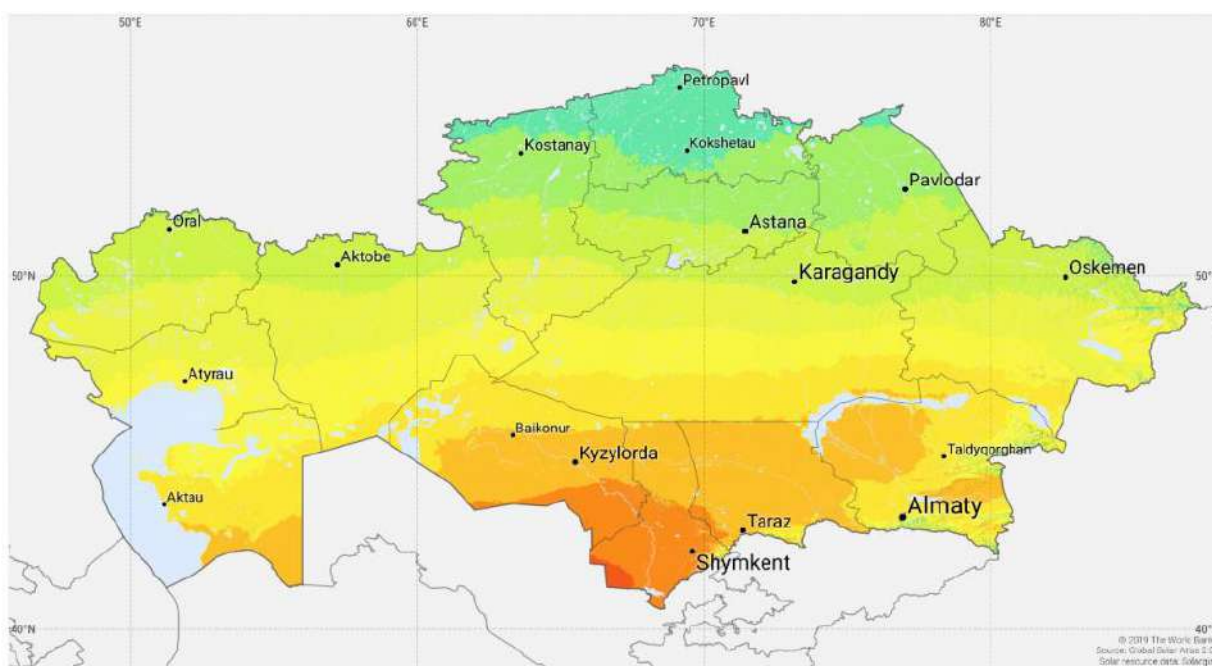


Рисунок 1. Карта солнечной радиации Казахстана

Крупнейшая страна Центральной Азии, Казахстан, обладает огромным потенциалом солнечной энергии. Количество солнечной радиации составляет 1300-1800 кВтч на квадратный метр в год [3] (Рисунок 1). Годовой потенциал солнечной энергии оценивается в

ОФ «Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

2,5 миллиарда кВтч. В таблице 1 приведены данные о месячных и годовых значениях солнечной радиации для трех районов: Форт-Шевченко (на побережье Каспийского моря), Аральское море (у побережья Аральского моря) и Алматы (юго-восток Казахстана).

Таблица 1. Солнечная освещенность горизонтальной поверхности, кВтч / м<sup>2</sup>

| Месяц    | Форт-Шевченко | Аральское море | Алматы |
|----------|---------------|----------------|--------|
| Январь   | 44            | 55             | 49     |
| Февраль  | 64            | 85             | 65     |
| Март     | 108           | 131            | 101    |
| Апрель   | 153           | 171            | 136    |
| Май      | 201           | 228            | 182    |
| Июнь     | 208           | 236            | 199    |
| Июль     | 209           | 231            | 211    |
| Август   | 188           | 204            | 186    |
| Сентябрь | 142           | 155            | 141    |
| Октябрь  | 91            | 95             | 91     |
| Ноябрь   | 50            | 52             | 52     |
| Декабрь  | 34            | 39             | 37     |
| Итого    | 1492          | 1682           | 1450   |

Не менее 50% территории Казахстана пригодно для установки солнечных электростанций [1]. Казахстан развивает технологии солнечной энергетики, а именно производство фотоэлектрических модулей с использованием местного кремния. Поскольку Казахстан богат кремнием (85 миллионов тонн), началось производство кремниевых солнечных батарей на внутреннем рынке [6]. В связи с этим недавно в Нур-Султане был запущен завод «Астана Солар» по производству фотоэлектрических модулей. Завод будет производить солнечные батареи из казахстанского кремния. Проектная мощность фотоэлектрических пластин составляет 50 МВт с возможностью увеличения до 100 МВт.

В 2012 году первая солнечная электростанция «Отар», вырабатывающая 0,5 МВт энергии, была построена в Жамбылской области. Еще одна солнечная электростанция мощностью 52 кВт построена в селе Сарыбулак Алматинской области [1]. В 2019 году начала работу Нургисинская солнечная электростанция мощностью 100 МВт в городе Капшагай Алматинской области [4]. В 2019 году в Карагандинской области начала свою работу еще одна солнечная электростанция в Казахстане, Саран, мощностью 100 МВт [5].

По данным Международного Энергетического Агентства (МЭА), в течение 40 лет солнечная энергия может удовлетворить около 20-25% потребности страны в энергии. Более того, эта доля необходимой электроэнергии может сократить выбросы углекислого газа на 6 миллиардов тонн ежегодно [1]. Тем не менее, к сожалению, несмотря на огромные солнечные мощности, в настоящее время, количество энергии, получаемой с помощью солнечной радиации, незначительна, поскольку страна продолжает полагаться на использование ископаемого топлива в качестве источника энергии.

Следуя мировой тенденции, в соответствии с Концепцией перехода Республики Казахстан к «зеленой экономике», правительство страны поставило амбициозную цель – к 2030 г. и 50% к 2050 г.[2]. При поддержке правительства и других международных агентств Казахстан предпринимает шаги по развитию сектора возобновляемой энергетики. Можно заметить, что программы и политика в области возобновляемых источников энергии поддерживают краткосрочный и долгосрочный потенциал возобновляемых источников энергии в Казахстане.

Для стимулирования развития солнечной энергетики в Казахстане приняты различные законодательные инициативы и программы поддержки. Это включает в себя налоговые льготы, тарифы на закупку электроэнергии, созданные на основе принципа «зеленых» тарифов, а также грантовую поддержку научных исследований и разработок в области возобновляемых источников энергии. Правительство также активно работает над привлечением инвестиций и международного сотрудничества для реализации крупных проектов в области солнечной энергетик.

Эффективное хранение энергии играет ключевую роль в повсеместном использовании солнечной энергии, позволяя использовать накопленную энергию в периоды пиковых нагрузок или в отсутствие солнечного света. В Казахстане исследуются и внедряются передовые технологии аккумуляторов, такие как литий-ионные и твердотельные батареи, которые обеспечивают большую ёмкость хранения и долговечность.

В настоящее время в Жамбылской области - 22 объекта ВИЭ мощностью 551,3 МВт, в том числе 6 гидроэлектростанций (24,4 МВт), 10 ветровых электростанций (275,6 МВт), 6 солнечных электростанций (251,2 МВт). В прошлом году производство электроэнергии составило 4 348,6 млн кВт\*ч, в этом году планируется 4 560,8 млн кВт\*ч.

В регионе есть возможности для развития ВИЭ. Предусмотрены все условия для строительства солнечных, ветровых и гидроэлектростанций. Руководство области ставит в приоритет инвестиционные проекты данного направления.

В целом, в предстоящие годы планируется реализация трех крупных проектов по ВИЭ. В частности, это ветровая электростанция компании Total Eren в Мойынкумском районе мощностью 1 ГВт, ветровая электростанция компании Masdar (ОАЭ) в Сарысуском и Таласском районах мощностью 500 МВт, а также ветровая электростанция компании China Power International Holding Limited мощностью 500 МВт.

Ожидается, что к 2028 году в Жамбылской области будет 25 объектов возобновляемых источников энергии с общей мощностью 2,5 ГВт.

Отметим, Жамбылская область лидирует по мощности ВИЭ в стране и занимает второе место по количеству таких объектов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Антонов, О. Зеленая энергетика Казахстана в XXI- веке: мифы, реальность и перспективы. Материалы обзора по состоянию на 2014 г.
2. Бытырбеков, И. *Законодательство в области возобновляемых источников энергии в Казахстане*. Источник [http://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31647811#pos=1;-263](http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31647811#pos=1;-263).
3. CaRNet (n.d.). Энергетика и возобновляемые источники энергии в Казахстане. *Региональный экологический центр Центральной Азии*.
4. informburo.kz (2019). *Солнечную электростанцию ввели в эксплуатацию в Алматинской области*. Источник <https://informburo.kz/novosti/solnechnuyu-elektrostanciuyu-vveli-v-ekspluatatsiyu-v-almatinskoy-oblasti.html>.
5. Сатубалдина, А. *К декабрю в Казахстане будут запущены девять проектов в области возобновляемой энергетики*. Источник <https://astanatimes.com/2020/05/nine-renewable-energy-projects-to-be-launched-in-kazakhstan-by-december/>.
6. Сим, О. . Новая индустриализация как драйвер экономического роста в Казахстане в условиях глобализации.
7. Всемирный банк, Глобальный атлас солнечной энергии 2.0, Solargis (2019). Источник <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/kazakhstan>.
8. Цыба, Ю., & Кузьмин, Ю. Современное состояние электроэнергетики: Электроэнергетика Казахстана и перспективы использования возобновляемых источников энергии. 2017 *Алматинский университет энергетики и связи*, УДК 621.548.4: 621.311.24.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-87-90

УДК 626.01

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПОТОКА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

ЕРКЕБҰЛАН НҰРМАН

Магистрант факультета «Архитектура, строительство и транспорт»  
Южно-Казахстанского университета им.М.Ауэзова

Научный руководитель – **Б.К. ДУЙСЕНБЕКОВ**, доктор PhD

Научный консультант – **Ф.Х. АУБАКИРОВА**, к.т.н.  
Шымкент, Казахстан

---

**Аннотация.** Важным этапом расчетного обоснования конструкций гидротехнических сооружений является рациональное решение вопроса гашения в нижнем бьефе избыточной кинетической энергии потока. Создание наиболее благоприятной гидравлической структуры при сопряжении бьефов и точное определение гидродинамических нагрузок на водобой позволяют свести к минимуму затраты средств на крепление русла за сооружением. Имеющиеся случаи размыва русла и аварийные подмывы сооружений свидетельствуют о недостаточном гашении избыточной энергии потока, что и обусловила необходимость разработки различных методов оценки эффективности применения гасителей.

**Ключевые слова:** гидротехническое сооружение, нижний бьеф, устройство нижнего бьефа, гашение энергии потока, эффективность гашение

---

При проектировании и расчете конструкций крепления русла нижнего бьефа гидротехнических сооружений одной из ключевых задач является уменьшение длины участка, на которой происходит переход потока из бурного состояния в спокойное. Эта задача часто решается с помощью установки гасителей энергии на водобое, которые обеспечивают оптимальные формы сопряжения бьефов при различных режимах работы сооружения и способствуют дополнительному успокоению потока. В настоящее время разработаны различные типы гасителей, для многих из которых определены области применения и эмпирические зависимости для расчетов. Также следует отметить, что правильно подобранные гасители могут существенно снизить материальные затраты на строительство нижнего бьефа сооружений. Создание наиболее благоприятной гидравлической структуры при сопряжении бьефов и точное определение гидродинамических нагрузок на водобой позволяют свести к минимуму затраты средств и материалов на крепление русла за сооружением, стоимость которых достигает порой до 50% стоимости всего сооружения [1].

Сложность процессов, происходящих на активном участке гашения энергии и его переходе на рисберму в условиях пространственной работы элементов нижнего бьефа водопропускных сооружений, обусловила необходимость разработки различных методов оценки эффективности применения гасителей. Рассмотрим некоторые из них.

Н.Н. Пашков [2] предложил использовать показатель эффективности  $K_W$  для анализа работы гасителей различных типов, который рассчитывается следующим образом:

$$K_W = \frac{E_1 - E_2}{W} \quad (1)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – энергия потока до и после гасителя;

$W$  – полезный объем гасителя.

Этот метод использовался для гасителей энергии высоконапорных водосбросных сооружений крупных гидроузлов, предназначенных для энергетических целей, причем рассматривалась плоская задача. Поэтому он не нашел применения при оценке работы мелиоративных трубчатых сооружений низкого и среднего напора, а также аналогичных конструкций, используемых в дорожном и коммунальном строительстве. В общем случае для оценки степени гашения энергии гасителем можно воспользоваться следующей формулой:

$$\eta = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \cdot 100\%, \quad (2)$$

М.С. Фомичев для оценки эффективности работы гасителя предлагает использовать критерий, основанный на скорости затухания турбулентности [3]. Этот критерий представляет собой соотношение пульсаций скоростей и давлений на участке гашения к соответствующим пульсациям в обычных условиях.

Большинство исследователей считает, что основным критерием оценки работы гасителей является размывающая способность потока за ними. Для водопропускных сооружений с большими расходами и напорами Ф.Г. Гунько разработал следующие критерии оценки исследованных типов гасителей [4]:

- степень гашения кинетической энергии потока за гасителями;
- подверженность гасителей кавитации;
- экономичность гасителя и связанных с ним водобойных устройств и креплений.

Автор предлагает считать степенью гашения энергии потока за гасителями гидродинамическое воздействие потока на русло, выраженное через его размывающую способность. Эта способность определяется методом критических скоростей, который позволяет учесть суммарное воздействие актуальных скоростей и давлений, т.е. пульсирующую гидродинамическую нагрузку на русло. Очевидно, что второй критерий — кавитация — на малых сооружениях не представляет реальной угрозы. По результатам исследований Ф.Г. Гунько, в заданных пределах изменения основных параметров наилучшие условия создаются при установке прорезной стенки в случае затопленного пространственного прыжка.

Согласно А.С. Абелеву [5], эффективность работы гасителей определяется по режиму потока на рисберме. Этот критерий косвенно отражает размывающую способность потока, однако не учитывает абсолютные значения осредненных и пульсационных скоростей в придонных слоях потока. В.Е. Ляпин [6] в качестве основных критериев для оценки работы гасителей выделил следующие показатели:

- затопляющий эффект;
- распределяющее действие гасителя;
- величину осредненной по времени максимальной (придонной) скорости течения на рисберме и за её пределами.

Исследования В.Е. Ляпина [7] подтвердили, что самая благоприятная структура потока в различных условиях пространственного сопряжения бьефов достигается за прорезными стенками. Эффективность воздействия прорезной стенки на поток наблюдается в том случае, когда её высота равна или превышает глубину воды в сжатом сечении потока.

По мнению Н.П. Розанова, Н.Т. Кавешникова и О.Н. Черных [8], которые исследовали работу трубчатых водопропускных сооружений, наиболее удачным типом гасителя энергии в трубчатом сооружении является комбинация рассеивающего порога с водобойной стенкой. На основании обобщения результатов исследований данный тип гасителя энергии был рекомендован как один из основных для применения в таких сооружениях.

Б.В. Орлов, М.Ш. Марголин и Д.Л. Басин [9] провели сопоставление различных конструкций гасителей энергии, применяемых на трубчатых водопропускных сооружениях мелиоративной сети, и представили свои рекомендации по их использованию. Они отметили, что современное состояние проектирования гасящих устройств не позволяет обойтись без лабораторных исследований и требует разработки новых, более эффективных конструкций гасителей для трубчатых сооружений.

В частности, было рекомендовано обратить внимание на связь гасителей с кинематической структурой потока и её изменениями вдоль рисбермы, а также связать эффект наличия гасителей с глубиной местного размыва за рисбермой в условиях пространственной задачи.

Существуют и другие критерии оценки эффективности работы гасителей энергии, которые не связаны с размывающей способностью потока. М.Э. Факторович считает, что с инженерной точки зрения наиболее важными являются следующие три критерия:

Эти критерии помогают более комплексно оценить эффективность работы гасителей энергии в различных условиях эксплуатации.

- критерий уменьшения сопряженных глубин

$$K_h = h_6 / h_1 \quad (3)$$

где  $h_1$  – сопряженная глубина на гладком водобое;

$h_6$  – бытовая глубина

- критерий изменения кинетической энергии потока

$$1. \quad K_u = \Phi \left[ \frac{d}{dx} \left( \frac{\alpha_0 u^2}{2g} \right) \right] \quad (4)$$

2.

- критерий длины участка сопряжения бьефов

$$3. \quad K_L = L_\tau / L_o \quad (5)$$

4.

где  $L_\tau$  – длина участка резкоизменяющегося движения при наличии гасителя;

$L_o$  – то же при отсутствии гасителя.

Зарубежные исследователи Н.Нарайана Пиллаи и Т.Е.Унни для оценки эффективности гашения избыточной энергии шашечными гасителями различной формы воспользовались энергетическим критерием вида

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{h_1 + \frac{\alpha_0 u_1^2}{2g}}{h_2 + \frac{u_2^2}{2g}} \quad (6)$$

Соотношение (6) может служить лишь первым приближением оценки потерь энергии потока на участке гашения, так как не всегда можно принимать распределение давления гидростатическим и пренебрегать энергией пульсации скорости.

Кроме вышеуказанных количественных критериев оценки работы гасителей, на практике также применяются критерии, имеющие качественный характер. Наиболее часто такие критерии используются при подборе гасителей для борьбы со сбойными течениями в нижнем бьефе сооружений. В этом случае применяется коэффициент сбойности, который представляет собой соотношение ширины нижнего бьефа, занятого водоворотами, к полной ширине нижнего бьефа.

При этом эффект действия гасителя обычно определяется визуально, и выбирается наиболее приемлемый вариант из числа исследованных. После этого пригодность выбранного варианта проверяется с помощью одного из вышеуказанных количественных критериев оценки работы гасителей.

Рассуждая об эффективности использования гасителей энергии, необходимо отметить, что оценка их действия должна основываться на надежных количественных и качественных характеристиках изменений гидравлической структуры потока и гидродинамических воздействий на сооружение и на русло за ним. Это позволит более точно оценить эффективность работы гасителей и их влияние на окружающую среду.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аубакирова Ф.Х. Оптимизация конструктивных решений устройств нижнего бьефа гидротехнических сооружений в условиях вихревого движения потока: дисс. ...канд.техн.наук: 05.23.07. – Тараз: ТарГУ им.М.Х.Дулати, 2010. – 127с.
2. Пашков Н.Н. Пульсационные исследования и расчет сбросных железобетонных плит крепления в нижнем бьефе трубчатых регуляторов // Труды МИСИ. – М.: МИСИ, 1961. - №32.
3. Фомичев М.С. Исследование влияния энергогасящих устройств на гидродинамику нижнего бьефа / Гидравлика сооружений и динамика речных русел. – М.: Изд.АН СССР, 1959.
4. Гунько Ф.Г. Установление рациональных типов гасителей избыточной энергии потока по его размывающей способности за гасителями (в пространственных условиях) / Известия ВНИИГ. – Л., 1962. – Т.71
5. Абелев А.С. Экспериментальные исследования сопряжения бьефов в пространственных условиях при наличии водобойных стенок и шашек / Известия ВНИИГ. – Л., 1947. – Т.34.
6. Ляпин В.Е. Гасители энергии в виде прорезных стенок. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.
7. Ляпин В.Е. Гидравлический расчет гасителя энергии, выполняемого в виде прорезной стенки и концевого крепления за ним / Известия ВНИИГ. – Л., 1962. – Т.71.
8. Устройства нижнего бьефа / Кавешников Н.Т., Китов Е.И., Черных О.Н. и др. Под ред.Розанова Н.П. – М.: Колос, 1984.
9. Орлов Б.В., Марголин М.Ш., Басин Д.Л. Конструктивные меры повышения пропускной способности трубчатых сооружений на каналах / Труды ВО Союзводпроект. – М., 1974. – Вып.2.
10. Факторович М.Э. Гашение энергии и сопряжение глубин при соединении потоков / Известия ВНИИГ. – Л., 1956. – Т.55.
11. Narayana Pillai N., Unny J.E. Shapes for Appurtenance in Stilling Basins / Journal of the Hydraulics Division. – 1964. – Vol.90. - №5.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-91-94  
УДК 624.03

## СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИХ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

**ИДИРГАЛИЕВА АЙДАНА АЙБАРҚЫЗЫ**

Магистрант Факультета Общего Строительства КазГАСА

Научный руководитель – **АУБАКИРОВА БАХЫТ МАЙНЫШЕВНА**  
Алматы, Казахстан

**Аннотация:** В статье рассматриваются обзор зарубежных исследования ученых, о стандартных методах определения паропроницаемости строительных материалов и их преимущества, а также недостатки.

**Ключевые слова:** мокрый метод, испытание, паропроницаемость.

**Abstract:** The article discusses a review of foreign research by scientists on standard methods for determining the vapor permeability of building materials and their advantages, as well as disadvantages.

**Keywords:** wet method, testing, vapor permeability.

На текущий момент основным стандартом определения характеристик паропроницаемости материалов является ГОСТ 25898-2012 [2], а также стандарты для отдельных видов строительных материалов [1]. Среди зарубежных стандартов можно выделить ASTM E 96, EN ISO 12572:2016 [4] и ряд других [3,5]. Объединяет их основной принцип испытания, основанный на гравиметрическом методе, который был разработан К. Ф. Фокиным в 30-е годы [6]. Испытуемый образец материала помещают на пути движения паров из области более высокого давления в область более низкого давления и по скорости прохождения водяных паров через материал судят о степени паропроницаемости материала. Метод условно разделен на «мокрый» и «сухой». При этом «мокрый» метод является основным, а «сухой» является дополнительным и служит для определения паропроницаемости материалов, применяемых в сухих эксплуатационных условиях. Так, например, при использовании «мокрого» метода согласно [2] формируются относительные влажности под и над образцом равные соответственно 100% и 50%. В «сухом» методе под образцом создается нулевая влажность воздуха за счет рекомендуемого влагопоглотителя. Схемы отображены на рисунке 1. Видно, что образец герметично устанавливается в отверстие чашки с жидкостью или поглотителем. Испытания происходят при постоянной температуре воздуха (+23°C) путем выдерживания установки с образцом в термостатированном помещении или шкафу. Измерения массы установки с образцом производят через каждые условные промежутки времени (сутки или несколько суток) до достижения ее стационарного изменения.

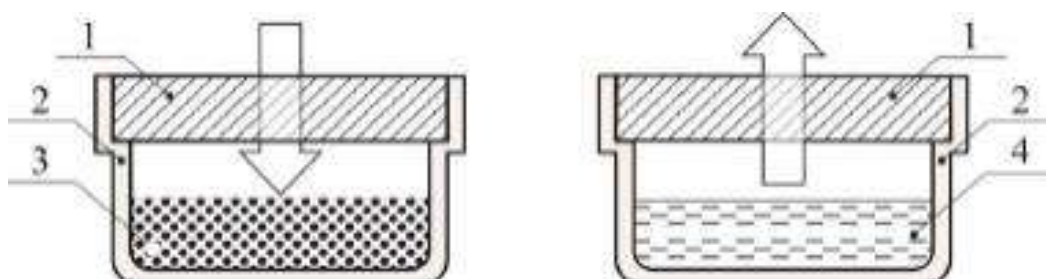


Рисунок 1 – Стандартные схемы определения паропроницаемости материалов 1 – образец материала, 2 – чашка, 3 – влагопоглотитель, 4 – испаряющаяся жидкость. Стрелкой показано направление движения водяного пара. Слева – «сухой» метод, справа – «мокрый»

Расчет коэффициента паропроницаемости выполняется согласно выражению:

$$\mu = \frac{d}{\left(\frac{\Delta e}{g} - R_{n/в}\right)} \quad (1)$$

где  $d$  – толщина образца материала, м;  
 $\Delta e$  – разность парциальных давлений водяного пара между поверхностями образца, Па;  
 $R_{n/в}$  – сопротивление паропроницанию слоя воздуха от нижней поверхности образца до испаряющей или поглощающей поверхности, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг;  
 $g$  – плотность потока водяного пара, мг/(м<sup>2</sup>·ч).

Плотность потока водяного пара получают посредством взвешивания и определяют во формуле:

$$g = \frac{\Delta m}{\Delta \tau A} \quad (2)$$

где  $\Delta m$  – изменение массы установки с образцом за интервал времени  $\Delta \tau$ , мг;  
 $\Delta \tau$  – интервал времени между двумя последовательными взвешиваниями, ч;  
 $A$  – площадь поверхности образца, м.

Не смотря на простоту проведения испытаний, стандартный гравиметрический метод определения паропроницаемости имеет ряд неопределенностей.

Согласно выражению (1) коэффициент паропроницаемости выражается через парциальное давление водяного пара и не учитывает иных потенциалов влагопереноса, рассмотренных ранее. Таким образом перенос жидкой влаги в материале (плёночное течение, капиллярный перенос и др.) определяется парциальным давлением водяного пара, что не соответствует физике процесса.

Разделение методов на «мокрый» и «сухой» произошло из-за зависимости паропроницаемости строительных материалов от их влажности. При этом сравнительный анализ температурно-влажностных условий испытания по действующим стандартам указывает на их несогласованность в этом вопросе. По таблице 1 можно видеть, что регламентируемые значения относительной влажности и температуры воздуха в образце различны, что вносит неопределенность в их обоснованности. Так, например, согласно условиям «мокрого» метода паропроницаемость защитного покрытия по ГОСТ 25898-2012 испытывается при  $t = 23^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 75\%$ , в то время как по ГОСТ 28575-2014 – при  $t = 20^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 82,5\%$ . При этом метод расчета описанный в ГОСТ 28575-2014 не учитывает сопротивление паропроницанию слоя воздуха  $R_{n/в}$  под образцом, что вносит еще большие различия в результаты расчетов.

Таблица 1 – Стандартные условия испытания паропроницаемости материалов

| Наименование стандарта | Темп. $t$ °C | Средняя отн. влажность воздуха в образце $\varphi$ % |               |
|------------------------|--------------|------------------------------------------------------|---------------|
|                        |              | Мокрый метод                                         | Сухой метод   |
| ГОСТ 25898-2012        | 23 °C        | 75 %                                                 | 25 %          |
| ГОСТ 12852.5-77        | 20 °C        | 75,5 %                                               | —             |
| ГОСТ 28575-2014        | 20 °C        | 82,5 %                                               | 40 %          |
| ASTM E 96-90           | 21–32 °C     | 75 %                                                 | 45 %          |
| EN ISO 12572:2016      | 23 °C        | 71,5 %                                               | 25 % и 42,5 % |

В стандартных методах материалы испытываются при постоянной температуре и фиксированных значениях относительной влажности воздуха, в то время как реальные условия эксплуатации материалов находятся в широком диапазоне температур и влажности. Таким образом стандартные лабораторные условия испытаний материалов не «привязаны» к реальным эксплуатационным условиям ограждающих конструкций, что может негативно отразиться на точности расчетов их влажностного состояния.

Отдельно стоит отметить работы Hugo S. L. C. Hens'a по исследованию влияния стандартных лабораторных условий испытания на получаемые результаты [7]. Так автор установил, что наиболее негативными факторами, влияющими на корректность получаемых результатов, являются: эффективность герметизации между чашкой и образцом, одномерность процесса переноса и направление потока пара. Не смотря на очевидность требования полной герметизации между образцом и чашкой, паропроницаемость некоторых рекомендуемых герметиков может увеличиваться с повышением относительной влажности воздуха.

Согласно приведенной в стандартах схеме установки для испытания, площадь образца превышает площадь отверстия чашки с целью наиболее герметичного примыкания. Однако в данном случае по исследованию [7] пароперенос пара становится не одномерным, что не учитывается при расчете коэффициента паропроницаемости.

Направление потока пара в мокром «методе» и «сухом» противоположны, см. рисунок 1. Очевидно, что данное обстоятельство не должно повлиять на результаты испытания. Однако, сравнительный анализ выполненный в [7] для бетонных и известково-песчаных образцов показал существенные отличия. При одинаковой средней относительной влажности воздуха в образцах, более высокие значения паропроницаемости получены в «сухом» методе, чем в «мокроем». Причина различия в длительном процессе адсорбции, который продолжается в течение недель или месяцев после регламентируемого периода кондиционирования образца. Таким образом в «сухом» методе результатом взвешивания является сумма адсорбированной влаги в поглотителе и образце, в то время как в «мокроем» – разность между количеством испарившейся жидкости и адсорбированной жидкости образцом.

Анализ стандартных методов определения паропроницаемости материалов позволил установить, что, не смотря на кажущуюся простоту проведения испытаний, точность измерений обеспечивается высоким уровнем подготовки испытателя. Лабораторные условия испытания и методы расчета действующих стандартов не согласованы между собой, где материалы испытываются при различных температурно-влажностных условиях. Также регламентируемые условия испытаний не нормируют комплекс эксплуатационных воздействий типичных для ограждающих конструкций: широкий диапазон эксплуатационных температур и влажности материалов, градиента температур по сечению образца, воздействия ветровых потоков на фасадные поверхности и другие воздействия.

Следовательно, необходимо исследование иных методов определения паропроницаемости материалов, свободных от данных недостатков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 12852.5–77. Бетон ячеистый. Метод определения коэффициента паропроницаемости [Текст]. – Взамен ГОСТ 12852–67 в части разд. 17 ; введ. 1978–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
2. ГОСТ 25898-2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию [Текст]. – Взамен ГОСТ 25898-83 ; введ. 2014–01–01. – М.: Стандартиформ, 2014.
3. DIN EN ISO 12572:2001-09. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit.
4. EN ISO 12572:2016. Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
5. JIS Z 0208-76. Japanese Standard: JIS Z 0208-76, Testing methods for determination of the water vapour transmission rate of moisture-proof packaging materials (dish method).
6. Фокин, К. Ф. Паропроницаемость строительных материалов [Текст] / К. Ф. Фокин // Проект и стандарт. – 1934. – № 4. – С. 17–20.
7. Hugo, S. L. C. Hens. Vapor Permeability Measurements: Impact of Cup Sealing, Edge Correction, Flow Direction, and Mean Relative Humidity / H. Hens // Journal of ASTM International. – 2009. – Vol. 6. – № 9.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-95-98  
УДК 624.073.11

## ПЛОСКИЕ ПЛИТЫ С ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРОЙ

ЭНЕСОВА ЖҰЛДЫЗ ЕРБОЛАТҚЫЗЫ

Магистрант Факультета Общего Строительства КазГАСА

Научный руководитель – АУБАКИРОВА БАХЫТ МАЙНЫШЕВНА  
Алматы, Казахстан

---

**Аннотация:** В статье рассматриваются обзор исследования ученых, о методиках расчета усиленных поперечной арматурой плоских плит и эффективности поперечного армирования при наклонном положении хомутов в толстых и средних по толщине плитах.

**Ключевые слова:** поперечная арматура, гибкость, продавливание.

---

**Abstract:** The article provides an overview of research conducted by scientists on methods for calculating cross-reinforced flat slabs and the effectiveness of transverse reinforcement in the inclined position of clamps in thick and medium-thick slabs.

**Keywords:** transverse reinforcement, flexibility, punching.

---

Исследований работы плоских плит на продавливание, усиленных поперечной арматурой недостаточно для разработки методики расчёта, учитывающей все особенности их работы, в том числе учитывающих напряженное состояние плиты в момент усиления. Как правило, расчёт прочности на продавливание усиленных конструкций выполняют по зависимостям, разработанным для плит с предустановленной поперечной арматурой.

В России исследования на продавливание плоских плит с предустановленной поперечной арматурой проводились Фишеровой М.Ф., Морозенским В.Л., Пыжовым Ю.К., Качановским С.Г. и др.

Исследования работы плоских плит на продавливание с жесткой арматурой и совместно жесткой и гибкой арматуры, проведенные в работах [1-3], показали, что гибкость воротников и скрытых капителей оказывает значительное влияние на размеры пирамиды продавливания и на несущую способность плиты при продавливании.

Исследования поперечного армирования в плоских плитах в виде «корзин» [6,7] выявили тот факт, что эффективность поперечного армирования при наклонном положении хомутов в толстых и средних по толщине плитах снижается по сравнению с вертикального положения хомутов. На основании этого сделан вывод о целесообразности применения каркасов – «корзин» лишь в тонких плитах.

Работа поперечного армирования в плоских плитах в виде отгибов были выполнены и изучены в трудах [4,9-11]. В результате было установлено, что при армировании отгибами возможно уменьшение толщины плиты до 10 см, а вертикальные хомуты недостаточно эффективны в тонких плитах.

Поперечное армирование в плоской плите в виде жесткого и смешанного (жесткое + гибкое) армирования были исследованы в работе М.Ф. Фишеровой [3]. В результате работы было установлено, что поперечное армирование, рассчитанное на 100% восприятия продавливающей силы по нормам СССР, фактически воспринимает только 42%, т.е. автор имеет ввиду, что вклад поперечной арматуры в общую несущую способность на продавливание составил лишь 42%. В результате анализа автором было показано, что армирование, рассчитанное на восприятие 75–100% полной нагрузки на колонну, на самом деле приводит к повышению несущей способности на продавливание только на 40%. Но эти рекомендации так и не вошли в нормы СССР.

Качановский С.Г. в своей работе [12] провёл исследование на продавливание 7 опытных образцов с предустановленной поперечной арматурой. В образцах варьировались процент поперечного армирования, схема расположения и шаг поперечных стержней. В результате проведённых исследований было установлено, что:

- в теле плит образуются замкнутые трещины в тангенциальном направлении от центра колонны, не наблюдаемые визуально снаружи;
- замкнутые трещины близки к поверхности усеченной пирамиды с углом наклона граней в 45°;
- исчерпание несущей способности наступало в результате разрушения бетона над вершиной критической наклонной трещины при достижении величины предела текучести в поперечных стержнях, пересекающих критическую трещину;
- разрушение плит с поперечной арматурой имеет пластичный, а не присущий плитам без поперечной арматуры, хрупкий характер;
- увеличение поперечного армирования существенно (до двух раз) повышает несущую способность плит на продавливание.

Большое количество исследований на продавливание плит с поперечной арматурой было проведено за рубежом. В опытах [13] получены экспериментальные данные о работе плит с предустановленной поперечной арматурой в виде хомутов, каркасов, отогнутых стержней и стержней с высаженными головками. Исследованы и другие виды поперечной арматуры, но многие из них не практичны из-за трудности при монтаже.

В результате авторы сделали следующие выводы:

- для эффективной работы хомутов, плита должна быть толщиной не менее 250 мм и форма должна состоять из замкнутых хомутов с крюками под 135° и продольными стержнями в углах.
- одиночные вертикальные стержни с крюками 180° (шпильки), охватывающими продольные стержни обоими концами, довольно эффективны в увеличении прочности на продавливание, при этом шпильки с крюками под 90° неэффективны. В то же время, анкеровка шпилек загibaми крюков не всегда позволяет достигать предела текучести в поперечной арматуре, особенно, в тонких плитах.
- наклонные стержни показывают хорошее сопротивление продавливанию, но большинство образцов разрушилось за пределами поперечного армирования.

Следует отметить, что большинство испытаний проводились на плитах небольшой толщины.

В университете Калгари (г. Калгари, США) в работах [13,14], чтобы решить проблему анкеровки поперечного стержня, было предложено применить стержень с высаженными головками для поперечного армирования. Большинство образцов были выполнены по схемам, представленным на рисунке 1.

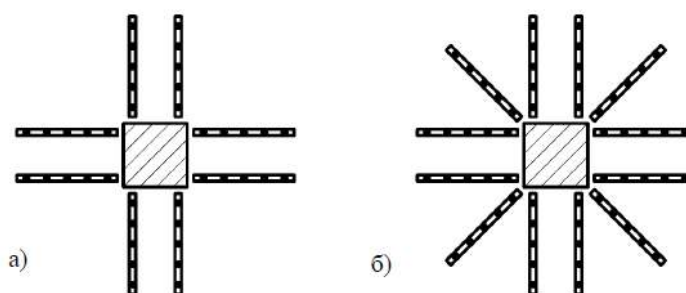


Рисунок 1 – Схемы расположения поперечных стержней с высаженными головками

Оба вида расстановки одинаково эффективны. Важным параметром при поперечном армировании является первый шаг  $s_0$ . В своем исследовании Dilger W.H. et al. [17] показал, что при расположении первого шага дальше, чем на  $s_0 > 0,5 \cdot h_0$  может привести к

преждевременному разрушению. С другой стороны, слишком близкое расположение тоже не эффективно, так как трещина может обойти первый ряд. Также авторы в опытах [15] получили, что для плоских плит расположение стержней с высаженными головками с шагом  $s \leq 0.75 \cdot h_0$  является оптимальным.

В работе [16], выполненном в политехническом институте в г. Лозанна (Швейцария, 2010 г.), были испытаны шесть плит с одинаковыми геометрическими и механическими характеристиками, но с различными видами поперечного армирования (с открытыми хомутами, наклонные стержни, установленные после бетонирования плиты на эпоксидный клей, непрерывные стержни, образующие хомуты, гвозди с высаженными головками как вертикальные, так и наклонные (рисунок 2).

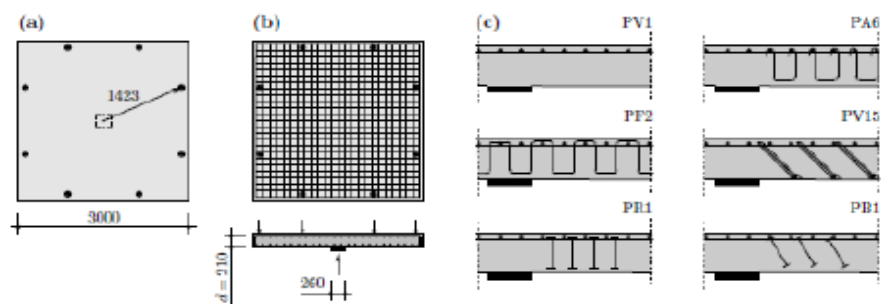


Рисунок 2 – Опытные образцы: а) геометрические размеры; б) продольное армирование образцов (коэффициент продольного армирования = 1,5%); в) схема расположения исследуемых систем поперечного армирования

Нужно отметить, что исследования, представленные в данной статье, были основаны на результатах испытаний одного образца на каждый вид поперечного армирования. Для достоверного суждения по каждому виду поперечного армирования необходимо испытание большего количества образцов. Однако, по результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

- прочность на продавливание в случае разрушения по грани колонны сильно зависит от конструктивных требований;

- системы с хорошей анкерровкой (стержни с высаженными головками) показывают высокие значения прочности и жесткости плит на продавливание. Хорошую работу демонстрируют и замкнутые хомуты. Открытые же хомуты с загибами на растянутой поверхности плиты показывают самые низкие значения увеличения прочности на продавливание;

- наклонная арматура – эффективный способ увеличить сопротивление на продавливание плит по грани колонны, так как наклонная арматура, если рассматривать ферменную аналогию, повышает прочность условного раскоса за счёт его армирования в поперечном направлении. При ферменной аналогии существенная доля нагрузки передается по условному раскосу, которая начинается от площадки нагружения.

В работах зарубежного автора [19] показано, что несущая способность на продавливание плит с обычной поперечной арматурой значительно ниже, чем алгебраическая сумма вкладов сопротивлений бетона и поперечной арматуры. По мнению авторов, это происходит из-за того, что бетон разрушается раньше, чем напряжения в поперечной арматуре успевают достичь предела текучести. В ряде случаев, при использовании хомутов, повышенная податливость их анкерровки в месте загиба ухудшает их эффективность. Исследования напряжений в хомутах [15] подтверждают справедливость последнего. Если поперечная арматура достаточно заанкерена, то ее вклад в сопротивление продавливанию увеличивается.

В нормативной литературе встречается два основных подхода по учету вклада в несущую способность на продавливание бетона и поперечной арматуры. Одна группа

исследователей, таких как Мое [18], Franz предлагают учитывать вклад поперечного армирования с коэффициентом условия работы в пределах от 0,25 до 0,8. На таком подходе базируются и Российские нормы.

Другие исследователи, как Elstner/Hognestadti Regan, предлагают использовать принцип суммирования, однако с уменьшенным вкладом по бетону (коэффициент условия работы в пределах от 0.5 до 0.8). EC2 и ACI 318 – 08 базируются на втором подходе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бургман В.В, Фишера М.Ф. Перекрытие многоэтажных промышленных зданий, возводимых методом подъема этажей // Бетон и железобетон: М.: 1972 г. — №6. — 9–11 стр.
2. Фишера М.Ф. Исследование безбалочных бескапителных перекрытий, возводимых методом подъема, для многоэтажных промышленных зданий. // Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук:М.: 1971 г. — 138 стр.
3. Фишера М.Ф. Исследование работы на продавливание плоского железобетонного перекрытия в зоне опирания на колонну// Труды ЦНИИПромзданий. Расчет конструкций промышленных зданий: М.: 1969 г.: 134–144 стр.
4. Andersson J. Punching of Concrete Slabs with Shear Reinforcement // Royal Institute of Technology, Bulletin № 212, pp. 87. — Stockholm, 1963.
5. 29. Corley W.G., Hawkins N.M. Shearhead Reinforcement for Slabs // Journal of ACI. — 1968. — №10. — 811–834.
6. Moe J. Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings Under Concentrated Loads // Portland Cement Association, Development Department Bulletin D47, 1961.
7. Scordelis A.C., Lin T.Y., May H.R. Shearing Strength of Prestressed Lift Slabs // Journal of ACI, vol. 56, № 26 153–166. — 1959.
8. 55. Langohr F., Ghali A., Dilger W.H. Special Shear Reinforcement for Concrete Flat Plates // Journal of ACI, vol. 73, № 3, 54–64. — 1976.
9. Шахназарян С.Ш. Опыт строительства зданий методом подъема этажей и перекрытий в Армянской ССР // Бетон и железобетон. — М.: [б.н.], 1977 г. — №5. — 13–14 стр.
10. Шахназарян С.Ш., Саакян Р.О., Саакян А.С. Возведение зданий методом подъема этажей и перекрытий. — М.: Стройиздат, 1974 г.
11. Elstner R.C., Hognestad E. Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs // ACI Journal, Vol.1. — July 1956. — pp. 29–58.
12. Качановский С.Г. Сопротивление сплошных плит с поперечной арматурой действию концентрированной нагрузки // Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — М., 1982 г.
13. Dilger W.H., Ghali A. Shear reinforcement for concrete slabs // ASCE Journal of the Structural Division. — 1981.
14. AndraK HP, Dilger WH, Ghali A. Urchstanzbewehrung fur Flachdecken //Beton–und Stahlbetonbau. — 1979.
15. ACI–ASCE COMMITTEE 421. Shear reinforcement for slabs. American Concrete Institute Report ACI 421.1R–99. 1999.
16. Muttoni, A., Fernández Ruiz, M. Performance and design of punching// 3rd fib International Congress – 2010.
17. Dilger W.H., Ghali A. Shear reinforcement for concrete slabs // ASCE Journal of the Structural Division. — 1981.
18. Moe J. Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings Under Concentrated Loads // Portland Cement Association, Development Department Bulletin D47, 1961.
19. Elstner R.C., Hognestad E. Shearing strength of reinforced concrete slabs. ACI Journal // ACI Journal. — 1956 г.. — 28. — 1.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-99-102

ӘӨЖ: 615.451.13:621.316

## ИНФУЗИЯЛЫҚ ЕРІТІНДІЛЕР ӨНДІРІСТІК УЧАСКЕСІН ЦЕХІШІЛІК ЭЛЕКТРМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕСІН ЖОБАЛАУ

ЭРГАШЕВА САБИНА ЗУРОБОВНА

С. Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университетінің  
4 курс студенті

СЕРЖАНОВА ҚҰРАЛАЙ ШАРХАНҚЫЗЫ

Инженерлік пәндер және тиісті практикалар кафедрасының ассистент профессоры  
С.Ж. Асфендияров атындағы "Қазақ ұлттық медицина университеті" КЕАҚ  
Алматы қ., Қазақстан Республикасы

**Түйіндеме.** Фармацевтикалық өндірістегі инфузиялық ертінділерді өндірудің үздіксіздігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін тиімді және сенімді электрмен жабдықтау жүйесі қажет. Бұл мақалада инфузиялық ертінділер өндірістік учаскесінің цехішілік электрмен жабдықтау жүйесін жобалаудың негізгі аспектілері қарастырылады. Жұмыста электрмен жабдықтаудың нормативтік талаптары, жүйені жобалаудың негізгі кезеңдері, энергия тиімділігіне қол жеткізу жолдары және қауіпсіздік шаралары талқыланады. Сонымен қатар, заманауи автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізудің артықшылықтары мен өндіріс тиімділігін арттырудағы маңыздылығы қарастырылады.

**Кілт сөздер:** инфузиялық ертінділер, электрмен жабдықтау, фармацевтикалық өндіріс, энергия тиімділігі, автоматтандыру, қауіпсіздік, цифрландыру.

**Резюме.** Для обеспечения непрерывности и безопасности производства инфузионных растворов в фармацевтической промышленности необходима эффективная и надежная система электроснабжения. В данной статье рассматриваются основные аспекты проектирования системы цехового электроснабжения производственного участка инфузионных растворов. Работа анализирует нормативные требования к электроснабжению, основные этапы проектирования системы, пути достижения энергоэффективности и меры безопасности. Также рассматривается внедрение современных автоматизированных систем управления и их влияние на повышение эффективности производства.

**Ключевые слова:** инфузионные растворы, электроснабжение, фармацевтическое производство, энергоэффективность, автоматизация, безопасность, цифровизация.

**Summary.** Ensuring the continuity and safety of infusion solution production in the pharmaceutical industry requires an efficient and reliable power supply system. This article discusses the key aspects of designing an in-plant power supply system for an infusion solution production facility. The study analyzes regulatory requirements for power supply, key stages of system design, ways to achieve energy efficiency, and safety measures. The implementation of modern automated control systems and their impact on improving production efficiency are also examined.

**Key words:** infusion solutions, power supply, pharmaceutical production, energy efficiency, automation, safety, digitalization.

**Мәселенің өзектілігі.** Фармацевтикалық өндірістің өсуімен бірге энергияны тұтыну көлемі де артып келеді. Инфузиялық ертінділер өндірісінде электрмен жабдықтау жүйесінің сенімділігі өнім сапасы мен өндірістік процестердің үздіксіздігіне тікелей әсер етеді.

ОФ "Международный научно-исследовательский центр "Endless Light in Science"

Заманауи фармацевтикалық кәсіпорындарда жоғары технологиялық жабдықтар пайдаланылады, олардың тұрақты жұмысы үшін сенімді электр энергиясы қажет. Энергияны тиімді пайдалану және электр жүйесінің сенімділігін арттыру мәселелері инфузиялық ертінділер өндірісінде негізгі міндеттердің бірі болып табылады.

**Зерттеудің мақсаты.** Зерттеудің басты мақсаты – инфузиялық ертінділер өндірістік учаскесінің цехішілік электрмен жабдықтау жүйесін жобалау әдістерін зерттеу және оны оңтайландыру жолдарын ұсыну. Сонымен қатар, энергия тиімділігін арттыру, резервтік қорек көздерін енгізу және автоматтандырылған басқару жүйелерін пайдалану арқылы өндірістің тұрақтылығын қамтамасыз ету қарастырылады.

**Зерттеу әдістері мен материалдары.** Электрмен жабдықтау жүйесін жобалау барысында келесі әдістер қолданылды:

Ғылыми және нормативтік құжаттарды талдау – электрмен жабдықтау жүйелерінің заманауи талаптарын зерттеу.

Жүйелік талдау әдісі – фармацевтикалық өндірістегі электр жүктемелерін анықтау және есептеу.

Техникалық-экономикалық негіздеме – энергия тиімділігі мен шығындарды азайту шараларын бағалау.

Компьютерлік модельдеу – электрмен жабдықтау жүйесінің жұмысына талдау жасау және оңтайлы шешімдерді анықтау.

Практикалық талдау – нақты өндіріс орындарындағы электрмен жабдықтау жүйелерін зерттеу және тиімділігін бағалау.

Инфузиялық ертінділер өндірістік учаскесін цехішілік электрмен жабдықтау жүйесін жобалау

**Нәтижені бақылау.** Электрмен жабдықтау жүйесінің тиімділігі мен сенімділігін бағалау үшін өндірістік процесте бірнеше бақылау шаралары орындалады. Бұл шаралар жүйенің дұрыс жұмыс істейтінін, энергия үнемдеу көрсеткіштерінің орындалатынын және жабдықтардың техникалық сипаттамаларына сәйкестігін тексеруге мүмкіндік береді.

#### *1. Электр жүйесінің жұмысын бақылау және оңтайландыру*

Электрмен жабдықтау жүйесінің сенімділігі мен тиімділігін анықтау үшін келесі көрсеткіштер бақыланады:

Кернеудің тұрақтылығы – электр қуатының берілісінде ауытқуларды болдырмау мақсатында кернеу деңгейінің  $\pm 5\%$  шегінде болуы тексеріледі;

Энергия тұтыну деңгейі – нақты энергия шығынын есептеу және оны жоспарланған көрсеткіштермен салыстыру;

Қуат коэффициенті – электр қуатының тиімді пайдалану деңгейін анықтау, қалыпты мәні 0.95-тен төмен болмауы тиіс;

Резервтік қуат көздерінің жұмыс қабілеттілігі – апатты жағдайда дизельді генераторлар мен UPS құрылғыларының автоматты қосылуын тексеру;

Жүктеме теңгерімі – әрбір электр тізбегінің жүктемесін талдау және оның өндірістік қажеттіліктерге сәйкестігін бақылау [6,7,8,9].

#### *2. Энергия тиімділігін арттыру жолдары*

Энергия үнемдеу шараларының тиімділігін бағалау үшін:

Интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу – автоматтандырылған энергия есептеу жүйелері арқылы электр тұтынуды оңтайландыру;

Энергия тиімді трансформаторларды қолдану – жаңа буын трансформаторларын пайдалану арқылы энергия шығынын 15%-ға дейін азайту;

Жарықдиодты шамдарды қолдану – өндірістік жарықтандыру жүйелерін жаңарту;

Қалдық жылуды қайта пайдалану – өндірістен бөлінетін жылуды қайта өңдеу жүйелерін орнату арқылы қосымша энергия үнемдеу;

Күн және жел энергиясын пайдалану – альтернативті қуат көздерін енгізу арқылы өндіріс тәуелсіздігін арттыру [10,11,12].

### **Электр жүйесін жобалау және жетілдіру**

Электрмен жабдықтау жүйесін жобалау бірнеше кезеңнен тұрады, әрқайсысы өндірістік процестің сенімділігін және тиімділігін қамтамасыз етуге бағытталған.

#### *1. Техникалық тапсырманы әзірлеу*

Жобалау жұмыстары басталмас бұрын, инфузиялық ертінділер өндірістік учаскесінің қажетті электр қуаты есептелуі тиіс. Бұл кезеңде:

1. Өндірістегі электр жүктемесін анықтау;
2. Қолданылатын жабдықтардың қуат талаптарын есептеу;
3. Энергия тұтыну режимін талдау;
4. Электрмен жабдықтау жүйесіне қойылатын талаптарды анықтау жүзеге асырылады

[8,9].

#### *2. Жобалық шешімдерді талдау және оңтайландыру*

Электр жүйесін жетілдіру үшін:

Негізгі және резервтік қуат көздерін оңтайландыру – тұрақты қуат көзіне қосылумен қатар, автономды қуат жүйелерін дамыту;

Интеллектуалды бақылау жүйесін енгізу – жүктеме теңгерімін автоматты түрде реттейтін smart жүйелерді орнату;

Қысқа тұйықталудан қорғау және қауіпсіздік жүйелерін нығайту – заманауи автоматтандырылған қорғаныс құрылғыларын пайдалану;

Энергия тиімді материалдар мен жабдықтарды пайдалану – заманауи кабельдер мен жоғары тиімділікке ие электр компоненттерін қолдану [9].

#### *3. Инфузиялық ерітінді өндірісі үшін қажетті қуат мәлшері*

Инфузиялық ерітінділерді өндіру кезінде қажетті электр қуаты:

Өндірістік жабдықтар – 300-600 кВт;

Стерилизация және ауа тазарту жүйелері – 200-400 кВт;

Суытқыш және жылыту жүйелері – 250-500 кВт;

Автоматтандырылған басқару жүйелері – 100-200 кВт;

Жарықтандыру және желдеткіш жүйелері – 80-150 кВт. Жалпы алғанда, инфузиялық ерітінді өндірісін қамтамасыз ету үшін 900-1850 кВт қуат қажет. Бұл көрсеткіш өндіріс көлеміне және қолданылатын жабдықтарға байланысты өзгеруі мүмкін [13,14].

### **Қорытынды**

Инфузиялық ертінділер өндірістік учаскесінің цехішілік электрмен жабдықтау жүйесін жобалау барысында энергия тиімділігі, электр қуатының сенімділігі және автоматтандыру деңгейі басты назарда болуы керек. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, заманауи энергия үнемдеу технологияларын қолдану электр шығындарын 25–30%-ға дейін азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, резервтік қуат көздерін пайдалану арқылы өндірістік процестердің үздіксіздігін қамтамасыз етуге болады. Болашақта өндірістік кешендерде жаңартылатын энергия көздерін пайдалану деңгейін арттыру мен цифрлық басқару жүйелерін кеңінен енгізу қажеттілігі айқындалып отыр.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Электрмен жабдықтау жүйелерін жобалау бойынша нормативтік құжаттар.
2. Фармацевтикалық өндірістің қауіпсіздік стандарттары.
3. Энергия үнемдеу технологиялары бойынша ғылыми зерттеулер.
4. Смирнов, Д.А. Автоматтандырылған жүйелер және олардың өндірістегі рөлі // Техникалық ғылымдар журналы, 2022.
5. Кузнецов, В.И. Индустриялық электрмен жабдықтау және энергия тиімділігі // Инженерлік зерттеулер, 2021.
6. Миронов, И.А. Өнеркәсіптік энергия тиімділігі // Цифрлық технологиялар, 2020.
7. Иванов, П.С. Автоматтандыру және өндірістік қауіпсіздік // Өнеркәсіптік инженерия, 2021.
8. Титов, А.Г. Фармацевтикалық өндірістегі электр қуатын оңтайландыру // Фармацевтикалық зерттеулер, 2020.
9. Орлов, К.Н. Өндірістік кешендердегі энергия тұтынуды басқару // Өндірістік процестер, 2019.
10. IEC стандарттары – Халықаралық электротехникалық комиссияның ресми құжаттары.
11. GMP стандарттары – Фармацевтикалық өндірістегі жақсы өндірістік тәжірибенің ресми ережелері.
12. <https://kazstat.github.io/sdg-site-kazstat/ru/9>.
13. Хасанов, М.Ф. Электрмен жабдықтау жүйелеріндегі инновациялық шешімдер // Энергетика және техника, 2021.
14. Петров, С.Н. Интеллектуалды электр жүйелерін енгізу // Автоматтандырылған технологиялар, 2022.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-103-104

## БІЛІМ БЕРУДІҢ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ ЖАҒДАЙЫНДА АРАЛАС ОҚЫТУДЫ ЖЕТІЛДІРУ ("ИНФОРМАТИКА" ОҚЫТУ ПӘНІ РЕТІНДЕ)

**ТӨЛЕУБЕК ЗАРЕМА АҚБОЛАТҚЫЗЫ**

Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің «Математика және ақпараттық технологиялар» факультетінің магистранты

**КАЗИМОВА Д.А**

Ғылыми жетекшісі – п.ғ.к., доцент, қолданбалы математика және информатика кафедрасының профессоры  
Қарағанды, Қазақстан

***Аңдатпа:** Бұл мақалада білім беру жүйесінің цифрлануы аясында аралас оқыту үлгілерінің трансформациясы, әсіресе «Информатика» пәнін оқытуда қарастырылады. Сандық құралдарды дәстүрлі білім беру процесіне біріктіру тәсілдері, қазіргі заманғы аралас оқыту үлгілері, сонымен қатар шетелдік және отандық тәжірибелер талданады. Жеке оқыту траекториялары, студенттерді ынталандыру және білім сапасын арттыру мәселелеріне ерекше назар аударылады.*

***Түйінді сөздер:** аралас оқыту, цифрлық трансформация, информатика, сандық технологиялар, білім беру платформалары, педагогикалық дизайн, АКТ.*

### **Кіріспе**

Қазіргі білім беру сандық технологияларсыз мүмкін емес. Қоғамның ақпараттануы жағдайында оқу орындары дәстүрлі оқыту үлгілерін қайта қарауға мәжбүр, оқытудың икемді, жекелендірілген және технологиямен қаныққан жаңа форматтарын құру қажеттілігі туындайды. Мұндай форматтың бірі — **аралас оқыту**, ол аудиториялық және онлайн-оқытудың үйлесімділігін қамтамасыз етеді.

Информатика пәнін оқытуда — сандық технологиялармен тікелей байланысты сала ретінде — аралас оқыту үлкен мүмкіндіктер ашады: рутиндік тапсырмаларды автоматтандырудан бастап, интерактивті симуляторлар мен виртуалды зертханаларды қолдануға дейін.

### **Аралас оқытудың теориялық-әдістемелік негіздері**

Аралас оқыту — бұл дәстүрлі әдістерді (дәріс, семинар) электрондық оқытумен (бейнесабақтар, онлайн-тесттер, интерактивті тапсырмалар, форумдар) үйлестіретін педагогикалық үлгі. Грэмнің (2006) үлгісіне сәйкес, аралас оқытудың үш негізгі компоненті бар:

1. **Бетпе-бет байланыс** — дәстүрлі аудиториялық сабақтар;
2. **Онлайн-орта** — сандық контент пен коммуникация үшін платформалар;
3. **Өзіндік жұмыс** — оқу сағаттарынан тыс студенттік белсенділік.

Қазіргі педагогикалық теориялар (конструктивизм, әрекет теориясы және т.б.) аралас оқытуды ХХІ ғасыр дағдыларын: сандық сауаттылықты, өзін-өзі басқаруды, сыни ойлауды дамыту тәсілі ретінде қолдайды.

### **Информатика пәнінде цифрлық трансформация және оның қиындықтары**

Цифрлық трансформация аясында жоғары оқу орындары:

- Moodle, Canvas, Blackboard, Sferum сынды LMS платформаларына көшуде;
- Google Workspace, Microsoft Teams, Discord сияқты қызметтерді біріктіруде;
- Coursera, Stepik сынды MOOK-тарды қолдануда;
- Mindmaps, Jamboard, интерактивті тақталар арқылы визуализация құралдарын пайдалануда.

Дегенмен, информатика пәні сандық бағытта болғанымен, оқыту үдерісінде бірқатар қиындықтар туындайды:

- Оқытушылардың цифрлық дағдыларының жеткіліксіздігі;
- Жаңа технологияларға бейімделудегі кедергілер;
- Студенттердің мотивациясын сақтау қиындықтары;
- Техникалық құралдарға тең қолжетімділіктің болмауы.

### **Информатикадағы аралас оқыту үлгілері**

#### **1. Аударылған сынып (Flipped Classroom)**

Студенттер теорияны бейнематериалдар арқылы өздігінен меңгереді, ал сабақта практикалық есептер шешіп, жобалар орындайды.

#### **2. Айналмалы үлгі (Station Rotation)**

Оқушылар бірнеше "станциялар" бойынша кезектесіп өтеді: дәріс, практикалық тапсырма, онлайн-зертхана.

#### **3. Икемді үлгі (Flex Model)**

Контенттің көп бөлігі онлайн түрде беріледі, ал бетпе-бет кездесулер менторлық және кеңес беру үшін қолданылады.

#### **Мысал:**

«Алгоритмдеу негіздері» тақырыбын оқыту кезінде Moodle платформасында видеодәрістер, тесттер, код симуляторлары ұсынылады. Дәстүрлі сабақтарда — олимпиадалық есептер, алгоритм жобалау, топтық талдау жұмыстары.

#### **Мотивация мен жекелендіру**

Информатикада мотивацияны арттыру үшін:

- **Ойын элементтері:** ұпайлар, марапаттар (мысалы, CodeCombat, Scratch);
- **Жобалық оқыту:** сайттар, қосымшалар жасау;
- **Интерактив:** визуалды симуляторлар, роботтар, Arduino;
- **Цифрлық портфолио:** студент жетістіктерін жинақтау.

SOVA, Smart LMS сияқты адаптивті платформалар тапсырмаларды студент деңгейіне бейімдейді.

#### **Халықаралық және отандық тәжірибе**

##### **Халықаралық тәжірибе:**

АҚШ, Германия, Финляндия университеттері STEM пәндерінде аралас оқытуды кеңінен қолданады. Canvas, edX, Kaltura платформалары қолданылады. Бұл студенттердің белсенділігін арттырып, білім сапасын жақсартады.

##### **Қазақстандық тәжірибе:**

Мәселен, Назарбаев Университеті мен ҚБТУ Moodle және Zoom көмегімен онлайн дәрістер мен жобалық зертханаларды үйлестіріп отыр. Stepik платформасындағы Python курсы білім беру бағдарламасына енген.

#### **Қорытынды**

Аралас оқытуды жетілдіру — білім беру инфрақұрылымын жаңғыртуды, оқытушылардың цифрлық құзыреттерін арттыруды және интерактивті әдістерді енгізуді қажет етеді. Информатика пәнінде аралас оқыту студенттердің белсенділігін арттыруға, оқыту формаларын әртараптандыруға және білімді тәжірибемен ұштастыруға мүмкіндік береді. Білім берудің болашағы — бұл икемді, жекелендірілген және цифрлық технологиямен үйлестірілген модельдерде.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-105-108

УДК 666

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**САМКЕНОВ ДАНИЯР АНАРБЕКОВИЧ**

Студент кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства»  
Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева

Научный руководитель – **АРУОВА ЛЯЗАТ БОРАНБАЕВНА**  
Астана, Казахстан

В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к стеклокристаллическим материалам, которые обладают уникальными свойствами, такими как высокая прочность, термостойкость и отличная оптическая прозрачность. Эти материалы находят широкое применение в различных отраслях, включая электронику, оптику и строительство. Одним из наиболее перспективных методов получения стеклокристаллических материалов является плазменная технология, которая позволяет контролировать процесс кристаллизации и структуру получаемого материала на молекулярном уровне.

Плазменная технология, основанная на использовании ионизированного газа, открывает новые горизонты в производстве стеклокристаллических материалов. Она обеспечивает высокую степень чистоты исходных компонентов, а также возможность создания материалов с заданными свойствами. В отличие от традиционных методов, плазменная обработка позволяет значительно сократить время синтеза и улучшить характеристики конечного продукта.

В данной статье мы рассмотрим основные принципы плазменной технологии, её преимущества и недостатки, а также перспективы применения стеклокристаллических материалов, полученных с помощью данного метода. Мы также проанализируем текущие достижения в этой области и обсудим возможные направления для будущих исследований.

Плазменная технология основана на использовании плазмы - четвёртого состояния вещества, состоящего из ионов, электронов и нейтральных частиц. Плазма может быть создана при помощи различных методов, таких как [1]:

- Дискретные разряды - это использование электрических разрядов для ионизации газа.
- Микроволновая плазма - применение микроволнового излучения для создания высокотемпературной плазмы.
- Плазменные реакторы - специализированные установки, в которых поддерживается плазменное состояние для проведения химических реакций.

Плазменная технология позволяет достигать высоких температур и давлений, что способствует эффективному синтезу стеклокристаллических материалов.

Процесс получения стеклокристаллических материалов с использованием плазменной технологии включает несколько этапов:

1. Подготовка исходных материалов. Исходные компоненты, такие как оксиды, карбиды или другие соединения, подготавливаются в виде порошков или растворов.
2. Создание плазмы. В реакторе создаётся плазма, которая ионизирует исходные материалы, обеспечивая их активное взаимодействие.
3. Синтез. В условиях плазмы происходит реакция между компонентами, в результате которой образуются стеклокристаллические структуры. Этот этап может включать как прямое осаждение, так и спекание.

4. Охлаждение и кристаллизация. После завершения реакции материал охлаждается, что позволяет ему перейти в стеклокристаллическое состояние. Контроль скорости охлаждения является критически важным для достижения желаемых свойств.

5. Обработка и формирование. Полученные стеклокристаллические материалы могут быть дополнительно обработаны для достижения необходимых размеров и форм.

Плазменная технология обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами получения стеклокристаллических материалов.

Плазменные процессы позволяют минимизировать загрязнения, что особенно важно для высокотехнологичных приложений.

Имеется возможность точного контроля параметров плазмы, что позволяет управлять кристаллической структурой и свойствами конечного материала.

Плазменные процессы могут быть более энергоэффективными, чем традиционные методы, что снижает затраты на производство.

Стежокристаллические материалы, полученные с использованием плазменной технологии, находят применение в различных областях, например, электроника, оптика, строительство и т.д.

В электронике стеклокристаллические материалы, полученные с использованием плазменной технологии, используются в производстве полупроводниковых устройств, солнечных элементов и других компонентов.

Применяются в производстве оптических фильтров, линз и других оптических элементов.

В строительстве стеклокристаллические материалы, полученные с использованием плазменной технологии используются в качестве строительных материалов с улучшенными механическими и термическими свойствами.

Изучив научные труды Шеховцов В. В., Скрипникова Н. К., Семеновых М. А., Бакшанский Р. Ю. [1], Мананков А.В., Гасанова Э.Р. [2], Кудяков А.И., Апкарьян А.С. [3], Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С. [4], Волокитин О.Г., Шеремет М.А., Шеховцов В.В., Бондарева Н.С., Кузьмин В.И. [5,6,7], результаты экспериментальных исследований по получению стеклокристаллических материалов с использованием энергии низкотемпературной плазмы мы свели в Таблицу 1.

Таблица 1 - Плазменный метод получения стеклокристаллических материалов

| Плазменный метод получения стеклокристаллических материалов                                    | Экспериментальные исследования                                             | Результаты исследований                                                          | Состав и свойства стеклокристаллического материала                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Использование энергии низкотемпературной плазмы для получения стеклокристаллических материалов | Определение зависимостей физико-механических характеристик от состава шихт | Оптимальный состав шихты: зола ТЭС - 70%, известняк - 20%, кварцевый песок - 10% | Состав: кварцевый песок - 10 масс. %, остальное - сырьевая смесь                                           |
| Формирование центров собирательной рекристаллизации анортитовой фазы                           | Использование электроплазменной установки для плавления шихт               | Максимальная прочность на изгиб и сжатие достигается при этом составе            | Физико-механические показатели: $R_{сж} = 530$ МПа, $R_{изг} = 110$ МПа, $\rho = 2986,2$ кг/м <sup>3</sup> |

| Плазменный метод получения стеклокристаллических материалов | Экспериментальные исследования                            | Результаты исследований                                          | Состав и свойства стеклокристаллического материала                   |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                                             | Термическая выдержка и кристаллизация полученных образцов | Формирование однородной тонкозернистой кристаллической структуры | Формирование центров собирательной рекристаллизации анортитовой фазы |
| Примечание: составлено автором                              |                                                           |                                                                  |                                                                      |

Экспериментальные исследования вышеуказанных авторов показывают, что для получения стеклокристаллических материалов с анортитсодержащей фазой в условиях низкотемпературной плазмы оптимальным является следующий состав:

- 70% зола ТЭС,
- 20% известняка,
- 10% кварцевого песка (см. таблицу 1, состав А-4).

При таком соотношении компонентов в сырьевой смеси и соблюдении режимов термообработки можно получить стеклокристаллический материал с высокими физико-механическими характеристиками:

- предел прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) — 530 МПа;
- предел прочности при изгибе ( $R_{изг}$ ) — 110 МПа;
- плотность ( $\rho$ ) — 2986,2 кг/м<sup>3</sup>.

Было обнаружено формирование центров собирательной рекристаллизации анортитовой фазы ( $CaAl_2Si_2O_8$ ). Эти включения хаотично расположены на поверхности продуктов плавления и напоминают дендритные микровключения, размер которых достигает 90 нм.

Кроме того, нами был составлен SWOT-анализ стеклокристаллических материалов, получаемых по плазменной технологии

#### Сильные стороны

1. Высокая прочность.
2. Термостойкость.
3. Устойчивость к коррозии.
4. Оптические свойства.

#### Слабые стороны

1. Высокая стоимость производства.
2. Сложность технологии.
3. Ограниченная доступность сырья.
4. Проблемы с масштабированием.

#### Возможности

1. Рост спроса на высокотехнологичные материалы.
2. Развитие новых приложений.
3. Инновации в производственных процессах.
4. Экологические преимущества.

#### Угрозы

1. Конкуренция.
2. Экономические колебания.
3. Ужесточение экологических норм и стандартов.
4. Технологические риски.

Таким образом, плазменная технология представляет собой перспективный метод получения стеклокристаллических материалов, обладающий множеством преимуществ. С учётом растущего интереса к новым материалам и технологиям, дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию инновационных решений для различных отраслей. Развитие плазменных технологий открывает новые горизонты для науки и промышленности, способствуя созданию материалов с уникальными свойствами и характеристиками.

В заключение, можно отметить, что технология получения стеклокристаллических материалов по плазменной технологии представляет собой перспективное направление в области материаловедения. Использование плазменных процессов позволяет значительно улучшить характеристики конечных продуктов, таких как прочность, термостойкость и химическая стойкость.

Плазменная технология открывает новые горизонты для создания материалов с заданными свойствами, что делает их востребованными в различных отраслях. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к разработке инновационных решений, способствующих улучшению качества жизни и повышению эффективности производственных процессов.

Таким образом, развитие плазменных технологий в производстве стеклокристаллических материалов не только расширяет возможности существующих технологий, но и создаёт предпосылки для появления новых, более совершенных материалов, отвечающих современным требованиям и вызовам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеховцов В. В., Скрипникова Н. К., Семеновых М. А., Бакшанский Р. Ю. Плазменный метод получения стеклокристаллических материалов // Вестник ТГАСУ. 2021. №5.
2. Мананков А.В., Гасанова Э.Р. Исследование зависимости физико-химических и теплофизических свойств стеклокристаллических материалов от их состава // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 1. С. 175–186
3. Кудяков А.И., Апкармян А.С. Технология гранулированного стеклокристаллического материала для теплоизоляции ограждающих конструкций чердачного перекрытия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 1. С. 132–139.
4. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С. Структура и прочность пеностеклокристаллических материалов из низкотемпературного стеклогранулята // Физика и химия стекла. 2011. Т. 37. № 4. С. 501–509.
5. Волокитин О.Г., Шеремет М.А., Шеховцов В.В., Бондарева Н.С., Кузьмин В.И. Исследование режимов конвективного теплопереноса при получении высокотемпературных силикатных расплавов // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т. 23. № 5. С. 789–800.
6. Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Перспективы использования низкотемпературной плазмы в строительстве и архитектуре // Физика и химия стекла. 2018. Т. 44. № 3. С. 324–327.
7. Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Процессы получения силикатных расплавов и материалов на их основе в низкотемпературной плазме // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. Т. 60. № 1. С. 144–148.

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-109-113

УДК 699.86

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ КРОВЛИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ: АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**СЕЙТХАН ЕРЗАТ НУРАЛЫҰЛЫ**

Студент кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства»  
Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева

Научный руководитель – **ТЛЕУБАЕВА А.К.**  
Астана, Казахстан

В условиях глобального изменения климата и растущих цен на энергоресурсы вопрос энергоэффективности зданий становится особенно актуальным. Одним из ключевых аспектов, влияющих на потребление энергии, является теплоизоляция кровли. Эффективное утепление кровли не только способствует снижению теплопотерь, но и значительно уменьшает затраты на отопление и кондиционирование, что в свою очередь положительно сказывается на экологии и экономике.

Одним из ключевых аспектов, влияющих на энергопотребление, является утепление кровли. Правильное утепление позволяет значительно снизить теплопотери, что в свою очередь ведёт к уменьшению затрат на отопление и кондиционирование.

Утепление кровли - это важный этап в строительстве и ремонте зданий, который позволяет снизить теплопотери, повысить комфорт проживания и уменьшить расходы на отопление [1].

Рассмотрим основные методы утепления кровли:

**Минеральная вата.** Этот материал широко используется для утепления кровли благодаря своей теплоизоляционной способности и относительно невысокой стоимости. Минеральная вата устойчива к высоким температурам и не поддерживает горение. Однако она может впитывать влагу, что снижает её эффективность, поэтому важно обеспечить её гидроизоляцию.

**Пенопласт (пенополистирол).** Пенопласт обладает хорошими теплоизоляционными свойствами и лёгкостью. Он устойчив к влаге и не подвержен гниению. Однако его горючесть требует применения специальных антипиренов. Также пенопласт может быть повреждён грызунами.

**Пенополиуретан (ППУ).** Этот материал наносится на поверхность кровли в виде пены, образуя бесшовное покрытие. ППУ обладает высокими теплоизоляционными свойствами, устойчивостью к влаге и долговечностью. Однако его монтаж требует специального оборудования и навыков.

**Экструзионный пенополистирол (ЭППС).** ЭППС похож на пенопласт, но имеет более плотную структуру. Он обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, устойчив к влаге и механическим воздействиям. ЭППС часто используется для утепления плоских кровель.

**Вспененный полиэтилен.** Этот материал лёгкий и эластичный, что облегчает его монтаж. Вспененный полиэтилен обладает хорошими теплоизоляционными свойствами и устойчивостью к влаге. Он также может использоваться в качестве звукоизоляционного материала.

**Натуральные утеплители (например, эковата, целлюлоза).** Эти материалы изготавливаются из натуральных волокон и обладают хорошими теплоизоляционными свойствами. Они экологичны и могут быть использованы для утепления кровли с учётом

правильной технологии монтажа. Однако они могут впитывать влагу и требуют дополнительной гидроизоляции.

Теплоизоляционные плиты из каменной ваты или других материалов с фольгированным покрытием. Фольгированное покрытие отражает тепло обратно в помещение, что повышает эффективность утепления. Такие плиты могут быть использованы как для утепления, так и для дополнительной защиты от теплопотерь.

Системы с использованием напыляемых теплоизоляционных материалов. В этом методе теплоизоляция наносится на поверхность кровли в виде аэрозоля. Этот метод позволяет создать бесшовное покрытие и обеспечивает хорошую адгезию к различным поверхностям. Однако для его применения требуется специальное оборудование и навыки.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе утеплителя для кровли. Важно также учитывать климатические условия региона, тип кровли и требования к энергоэффективности здания.

При выборе метода утепления кровли рекомендуется обратиться к специалистам, которые помогут определить наиболее подходящий вариант с учётом всех факторов.

Каждый из этих материалов имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе.

Оценка эффективности утепления кровли включает в себя несколько аспектов [2].

Снижение теплопотерь: основной целью утепления кровли является минимизация теплопотерь через кровлю. Это можно оценить путём измерения температуры внутри помещения и сравнения её с наружной температурой. Также можно использовать тепловизор для выявления «мостиков холода» - участков, где тепло уходит наружу.

Энергосбережение: утепление кровли помогает снизить затраты на отопление за счёт уменьшения потребности в дополнительном обогреве помещения. Можно сравнить расходы на отопление до и после утепления, чтобы оценить экономическую эффективность.

Комфорт в помещении: эффективное утепление кровли способствует созданию более комфортных условий в помещении, особенно в холодное время года. Снижение перепадов температуры и уменьшение влажности могут улучшить качество воздуха и комфорт проживания.

Звукоизоляция: утепление кровли также может улучшить звукоизоляцию помещения, снижая проникновение шума извне, что можно оценить субъективно или с помощью специализированного оборудования.

Долговечность и сохранение теплоизоляционных свойств: важно учитывать долговечность используемых материалов и их способность сохранять теплоизоляционные свойства на протяжении времени, что можно проверить через регулярные осмотры и техническое обслуживание.

Соответствие нормам и стандартам: утепление должно соответствовать местным строительным нормам и стандартам энергоэффективности, что может включать проверку толщины утеплителя, используемых материалов и методов установки.

Визуальный осмотр и диагностика: регулярный визуальный осмотр кровли на предмет повреждений и состояния утеплителя также может дать представление об эффективности утепления.

Для комплексной оценки эффективности утепления кровли можно использовать как качественные, так и количественные методы.

Для оценки эффективности утепления важно учитывать теплопроводность, плотность и влагостойкость материалов. Эти характеристики влияют на общую теплотехническую эффективность кровли.

Моделирование тепловых процессов - это метод, который позволяет предсказать и оптимизировать распределение температуры в различных системах, включая кровлю. Для этого используются математические модели, описывающие тепловые потоки, теплопередачу и другие связанные процессы.

Моделирование тепловых процессов при утеплении кровли включает:

Расчёт теплопотерь через кровлю. Модель учитывает теплопроводность материалов, толщину слоёв утеплителя, температуру внутри и снаружи помещения, а также термическое сопротивление конструкции. Это позволяет определить, насколько эффективно работает утепление.

Оптимизация расположения и толщины слоёв утеплителя. Модель помогает определить оптимальное распределение утеплителя по площади кровли и его толщину для минимизации теплопотерь.

Анализ «мостиков холода». Модель может выявить участки, где тепло уходит наружу из-за недостаточного утепления или неправильной конструкции. Это позволяет разработать меры по устранению «мостиков холода».

Оценка влияния утепления на температуру внутри помещения. Модель предсказывает, как изменится температура в помещении после утепления кровли, что помогает оценить комфорт и энергоэффективность.

Расчёт затрат на отопление. Модель учитывает изменение теплопотерь после утепления и позволяет оценить снижение расходов на отопление.

Анализ влияния утепления на звукоизоляцию. Хотя основной акцент в моделировании тепловых процессов делается на теплотехнике, некоторые модели могут учитывать и влияние на звукоизоляцию.

Для моделирования тепловых процессов используются специализированные программные комплексы, такие как ANSYS, COMSOL Multiphysics, Autodesk CFD и другие. Эти программы позволяют создать виртуальную модель кровли, задать параметры материалов и условий эксплуатации, а затем рассчитать тепловые процессы и оценить их эффективность.

Моделирование тепловых процессов является важным инструментом для проектирования и оптимизации систем утепления кровли, позволяя учесть множество факторов и выбрать наиболее эффективные решения.

Сценарный анализ при моделировании тепловых процессов при утеплении кровли.

Сценарный анализ позволяет оценить, как изменение различных параметров повлияет на эффективность утепления кровли. Приведём несколько сценариев, которые можно рассмотреть:

Изменение теплопроводности материалов. В зависимости от выбранных материалов для утепления и конструкции кровли, теплопроводность может варьироваться. Изменение этого параметра в модели позволяет определить, как это повлияет на теплопотери и эффективность утепления. Например, можно рассмотреть использование материалов с разной плотностью и структурой для достижения оптимального баланса между теплоизоляцией и стоимостью.

Влияние толщины слоёв утеплителя. Увеличение толщины слоёв утеплителя обычно приводит к снижению теплопотерь, но также может увеличить стоимость и вес конструкции. Сценарный анализ позволяет определить оптимальную толщину утеплителя для конкретных условий эксплуатации. Например, можно рассмотреть сценарий, при котором толщина утеплителя изменяется в зависимости от климатических условий региона.

Изменение температуры внутри и снаружи помещения. Температура внутри помещения и снаружи влияет на теплопотери через кровлю. Сценарный анализ позволяет оценить, как изменение этих параметров повлияет на эффективность утепления. Например, можно рассмотреть сценарий, при котором температура внутри помещения изменяется в зависимости от времени года или использования дополнительных источников тепла.

Влияние «мостиков холода». «Мостики холода» - это участки, где тепло уходит наружу из-за недостаточного утепления или неправильной конструкции. Сценарный анализ позволяет определить, как изменение расположения и характеристик утеплителя повлияет на

устранение «мостиков холода». Например, можно рассмотреть сценарий, при котором изменяется конструкция кровли для минимизации теплопотерь через «мостики холода».

Оценка затрат на отопление. Изменение теплопотерь после утепления влияет на расходы на отопление. Сценарный анализ позволяет оценить, как изменение параметров утепления повлияет на затраты на отопление. Например, можно рассмотреть сценарий, при котором рассчитывается экономическая эффективность утепления кровли в зависимости от выбранных материалов и их стоимости.

Влияние утепления на звукоизоляцию. Хотя основной акцент в моделировании тепловых процессов делается на теплотехнике, некоторые модели могут учитывать и влияние на звукоизоляцию. Сценарный анализ позволяет оценить, как изменение параметров утепления повлияет на звукоизоляцию кровли. Например, можно рассмотреть сценарий, при котором анализируется эффективность сочетания теплоизоляционных и звукоизоляционных материалов.

Для проведения сценарного анализа также используются специализированные программные комплексы, такие как ANSYS, COMSOL Multiphysics, Autodesk CFD и другие. Проведение сценарного анализа позволяет выявить оптимальные решения для конкретных климатических условий и архитектурных особенностей зданий, что включает в себя изменение толщины утеплителя, выбор материалов и конфигурации кровли.

При выборе утеплителя рекомендуется учитывать не только его теплотехнические характеристики, но и экологические аспекты, такие как возможность вторичной переработки и влияние на здоровье человека.

Для повышения энергоэффективности покрытий крыш жилых и общественных зданий и снижения перегрева в летних условиях рекомендуется применять эксплуатируемые кровли с защитным земляным слоем с травяным покровом – так называемые «зелёные кровли» [3].

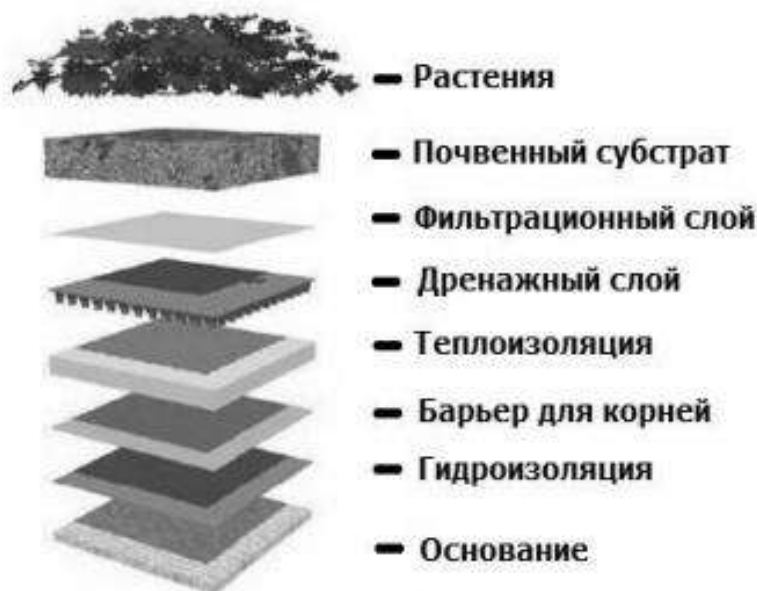


Рисунок 1. Защитный слой кровли [3]

Размещённый на такой крыше экологический защитный слой предохраняет изоляцию от механических воздействий, защищает кровлю от перегрева и старения.

«Исследования, проведённые министерством окружающей среды Канады, обнаружили снижение на 26% в потребностях охлаждения летних и сокращение потерь тепла на 26% в зимних условиях при использовании зелёной кровли» [4].

«В городе Оттава, расположенном в Канаде, были проведены испытания, целью которых было сравнить температурные режимы традиционных плоских крыш, которые

служили эталоном, и крыш с зелёным покрытием. Эталонные крыши состояли из пароизоляционной плёнки, уложенной поверх основания крыши, слоя теплоизоляции из экструдированного пенополистирола, опорной панели, на которую укладывалась мембрана, и балласта. Результаты испытаний показали, что кровельные мембраны традиционных плоских крыш испытывают значительные колебания температуры, превышающие температуру окружающего воздуха. В отличие от них, крыши с зелёным покрытием демонстрируют гораздо более стабильные температурные показатели мембраны на протяжении всех 20 месяцев испытаний. Наиболее заметная разница в температурах наблюдалась в летние месяцы. Исследователи пришли к выводу, что более низкие колебания температуры способствуют увеличению срока службы кровельной мембраны в конструкции крыши с зелёным покрытием. В традиционной кровельной конструкции повышенные колебания температуры внешней поверхности мембраны приводят к перегреву пространства под мембраной в летние месяцы и охлаждению в зимний период. Это, в свою очередь, приводит к увеличению потребления энергии для обогрева в холодное время года и охлаждения в жаркие месяцы. Исследования показали, что в среднем суточные колебания температуры мембраны составили около 6 °С для крыши с зелёным покрытием и 45 °С для традиционной крыши в течение того же периода (20 месяцев)» [4].

«Министерство финансов Греции установило зелёную кровлю над зданием казначейства и сдала в эксплуатацию 2008 году. Здание в десять этажей имеет общую площадь 1,4 га. Площадь, покрытая зеленью, охватывает 650 м<sup>2</sup>. Исследования, проведённые через год (в августе 2009), показали 9% экономии электроэнергии на кондиционирование и 4% - на отопление во всем здании. Так же выяснилось, что при увеличении биомассы крыши увеличивается и энергоэффективность здания» [5].

Правильная установка утеплителя критически важна для достижения заявленных характеристик. Необходимо избегать мостиков холода и обеспечить герметичность соединений.

Регулярное обслуживание кровли, включая проверку состояния утеплителя и герметичности, поможет поддерживать высокую эффективность утепления на протяжении всего срока эксплуатации.

Оптимизация утепления кровли является важным шагом к снижению энергопотребления в зданиях. Использование современных методов анализа и моделирования позволяет находить наиболее эффективные решения, а практические рекомендации помогут реализовать их на практике. В условиях растущих требований к энергетической эффективности зданий, внимание к утеплению кровли становится не только экономически целесообразным, но и социально ответственным выбором.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев В. С., Тихонова В. Ф. Энергоэффективные крыши и их теплотехнический расчёт // Жилищное строительство. 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnye-kryshii-ih-teplotekhnicheskii-raschet>
2. Ходжаев С.А. Повышение энергоэффективности энергопотребления зданий и сооружений - актуальная проблема современности. Ташкент. Журнал «Архитектура и строительство». 4-5, 2011. Стр. 95-96.
3. Мингяшаров Абдурахим Хуроз Угли Влияние «зеленой кровли» на энергоэффективность зданий // Наука, техника и образование. 2020. №9 (73). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zelenoy-krovli-na-energoeffektivnost-zdaniy>
4. Ашрабов А.А., Сагатов Б.У. О передаче напряжений через трещины железобетонных элементах // Молодой учёный, 2016. № 7-2. С. 41-45
5. Green Roofs for Healthy Cities – About Green Roofs". Retrieved 10 June, 2008

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-114-119

УДК 622.323

## УВЕЛИЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОТДАЧИ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА ЗАКАЧКОЙ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

**ИХСАНОВ КАЙРБЕК АЙТЖАНОВИЧ**

к.т.н., старший преподаватель Западно-Казахстанского аграрно-технического  
университета им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан

**КАДЫРОВ ТИМУР ХАЙДАРОВИЧ**

Магистрант Западно-Казахстанского аграрно-технического университета  
им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан

---

**Аннотация.** Закачка двуокисью углерода оказалось одним из наиболее перспективных методов повышения нефтеотдачи. Когда  $\text{CO}_2$  впрыскивается в продуктивный пласт выше его минимального давления смешивания (смешиваемое заводнение), газ действует как растворитель.  $\text{CO}_2$  захватывает более легкие углеводородные компоненты, общий объем нефти набухает и уменьшается вязкость нефти, повышается фильтрация нефти. Также рассматриваются возможные риски при закачке углекислого газа, понижающие проницаемость пласта.

**Ключевые слова:** углекислый газ, скважина, закачка, пластовое давление, нефтеотдача, жидкий диоксид углерода.

---

**Түйін.** Көмірқышқыл газын айдау мұнай өндіруді арттырудың ең перспективалы әдістерінің бірі болып шықты.  $\text{CO}_2$  өнімді қабатқа ең төменгі араластыру қысымынан (аралас су басу) жоғары енгізілгенде, газ еріткіш ретінде әрекет етеді.  $\text{CO}_2$  жеңіл көмірсутек компоненттерін алады, мұнайдың жалпы көлемі ісінеді және мұнайдың тұтқырлығы төмендейді, мұнайдың сүзілуі жоғарылайды. Көмірқышқыл газын айдау кезінде қабаттың өткізгіштігін төмендететін ықтимал қауіптер де қарастырылады.

---

**Abstract.** Carbon dioxide injection has proven to be one of the most promising methods for increasing oil recovery. When  $\text{CO}_2$  is injected into a productive reservoir above its minimum mixing pressure (miscible flooding), the gas acts as a solvent.  $\text{CO}_2$  captures lighter hydrocarbon components, the total volume of oil swells and the viscosity of the oil decreases, and oil filtration increases. The possible risks of injecting carbon dioxide, reducing the permeability of the reservoir, are also being considered.

---

**Введение.** Закачка углекислого газа повышает эффективность разработки нефтяных месторождений. Это также поможет решить экологические проблемы с целью уменьшения парникового эффекта.

Впервые заниматься этой темой начали еще при Советском Союзе. Так, в 1967 г. углекислый газ в виде карбонизированной воды закачали на Александровской площади Туймазинского месторождения в Башкирии. Объем вовлечённых в разработку геологических запасов был оценен в 61 млн т. Это составило 8% от общей добычи нефти за счёт методов увеличения нефтеотдачи (МУН). В конце 1980-х – начале 1990-х гг. многие перспективные проекты были свернуты[1].

В мире вопросам улавливания, использования и хранения  $\text{CO}_2$  уделяется значительное внимание. В Технологическом обзоре ООН от 2021 года были представлены 27 реализуемых и планируемых к реализации проектов. Из них 21 – это проекты МУН с использованием  $\text{CO}_2$ . В Соединённых Штатах на закачку газа приходится почти 60% добычи нефти.

Высокая эффективность методов увеличения нефтеизвлечения с использованием  $\text{CO}_2$  определяется как свойствами углекислого газа, так и факторами взаимодействия с пластовыми системами. Критическая температура  $\text{CO}_2$  – около 31,2 градуса С, критическое давление – около 7,38 МПа. При температуре и давлении выше критической точки диоксид углерода находится в сверхкритическом состоянии.

При этом исчезает граница раздела «газ–жидкость», а его плотность близка к плотности жидкости. При растворении углекислого газа в воде увеличивается вязкость воды и образуется угольная кислота ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Снижается набухаемость глинистых частиц, происходит отмыв пленочной нефти. Однако, растворимость  $\text{CO}_2$  в воде в 4–10 раз меньше, чем в нефти. Поэтому углекислый газ может из воды переходить в нефть.

Растворимость в воде снижается с ростом минерализации и увеличивается с увеличением давления. Влияние  $\text{CO}_2$  на изменение поверхностного натяжения определяется экспериментально. При растворении углекислого газа в нефти её вязкость уменьшается, а объём нефти увеличивается. При растворении  $\text{CO}_2$  в лёгкой нефти её объём увеличивается в 1,4–1,6 раза; а в тяжёлой нефти – до 1,32 раза.

**Материалы и методы исследования:** геологические условия месторождения Узень соответствуют критериям применения и являются одним из основных факторов успешной реализации технологий закачки  $\text{CO}_2$ . На основе реализованных проектов были выделены следующие основные параметры залежей, которые могут быть рекомендованы для закачки. Это глубина залегания от 460 до 3700 метров. Предпочтительна глубина более 915 метров. Плотность нефти должна быть от 17,5 до 50°API, в среднем 37°API (839 кг/куб.м.); максимально допустимая плотность нефти – 950 кг на кубометр. Допустимая пористость коллектора от 3 до 26%.

При закачке  $\text{CO}_2$  предпочтение отдаётся месторождениям с более высокой глубиной залегания пластов и меньшей плотностью нефти. Это связано с тем, что температура и давление на этой глубине способствуют закачке под высоким давлением[2].

Высокая трещиноватость может снизить эффективность углекислого газа. Однако около 60% проектов в США по закачке диоксида углерода реализуются в карбонатных коллекторах, остальные – в песчаниках. Увеличение нефтеизвлечения при использовании  $\text{CO}_2$  составляет от 15% до 25%. Коллектор месторождения Узень относится к терригенным, состоит из песчаника, трещиноватость низкая.

Эффективность процесса вытеснения зависит от смешиваемости с нефтью, увеличения объёма нефти, снижения её вязкости и снижения межфазного натяжения. Углекислый газ может смешиваться с нефтью в зависимости от термодинамических пластовых условий: пластового давления, температуры и свойств нефти. Смешивающееся вытеснение обеспечивает более высокую степень нефтеизвлечения и поэтому является предпочтительным вариантом.

Основным параметром, определяющим достижение режима смешивающегося вытеснения нефти, является минимальное давление смесимости, зависящий от давления насыщения нефти, которое должно базироваться не только на изучении, анализе и прогнозировании свойств пластовых систем с учётом особенностей фазового поведения нефти.

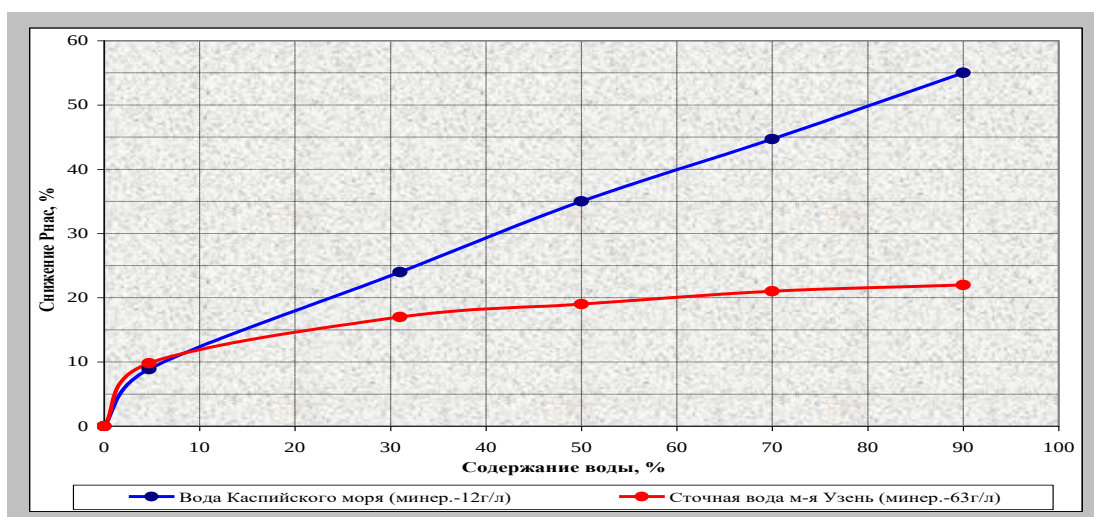


Рисунок 1 – Изменение давления насыщения (МПа) пластовой нефти в зависимости от содержания воды

На месторождении Узень обводненный фонд скважин составляет 95 %. В дальнейшем наблюдается еще большее повышение темпов обводнения. В настоящее время почти весь фонд эксплуатационных скважин обводнен, лишь единицы скважин имеют небольшую обводненность. По состоянию на 01.01.15 г. текущая обводненность по горизонтам составляет: 13 горизонт – 75,2 %, 14 горизонт – 83,1 %, 15 горизонт – 81,6 %, 16 горизонт – 84,6 %, 17 горизонт – 84,6 %, 18 горизонт – 77,4 % [2].

Необходимо анализировать и учитывать термодинамические, геомеханические и геохимические характеристики пластовой системы, их неоднородность и изменчивость по месторождению и по горизонтам. Нужно принимать во внимание технические и технологические возможности потенциального объекта. Для развития и широкого внедрения технологий закачки  $\text{CO}_2$  важно комплексно подходить к исследованиям.

При этом особое внимание следует уделять вопросам предотвращения технологических рисков.

В их числе - компонентное разделение нефти и выпадение асфальтенов; коррозия оборудования из-за образования угольной кислоты; образование эмульсий. Среди других факторов - взаимодействие угольной кислоты с породой и выпадение солей кальция и магния; снижение эффективности работы насосов из-за высокого газового фактора. Среди других рисков - гравитационное разделение, возможность прорыва  $\text{CO}_2$  по высокопроницаемым зонам и снижение коэффициента охвата [3].

При проектировании технологий закачки  $\text{CO}_2$  необходимы интегральный анализ и исследования ключевых факторов эффективности процесса. Это позволит уменьшить аварии нефтепроводов, ремонты скважин. Также повысится энергоэффективность, экологичность производства.

Должно быть предусмотрено использование материалов, устойчивых к высокой диффузионной способности углекислого газа. Для регенерации и утилизации углекислоты может понадобиться модернизация систем сбора и подготовки. Нужно также специальное оборудование для работы в среде жидкого углекислого газа. Это контрольно-измерительные приборы, запорная арматура, насосные агрегаты.

**Результаты исследования** Изменение состава нефти, вызванное закачкой диоксида углерода, может привести к осаждению асфальтенов. При этом часть асфальтенов оседает на поверхности пористой среды и формирует отложения. Они снижают фильтрационно-емкостные системы (ФЕС) нефтяного пласта. Такие исследования проводятся на модельных или единичных образцах промысловой нефти. Проблемой также является их высокая стоимость.

При этом процессы взаимодействия пластовой системы и  $\text{CO}_2$  очень специфичны ввиду неоднородности нефтяной пластовой системы и нестационарности. Поэтому для проектирования технологий применения углекислого газа для увеличения нефтеизвлечения необходимы детальные и комплексные исследования[4].

Необходимо определить комплекс параметров для дифференциации нефтей по коллоидной устойчивости, поскольку нефтяная дисперсная система является чувствительной к техногенным изменениям. Стандартные методики оценки коллоидной устойчивости нефти, а также выявления степени влияния внешних факторов на её изменение и оседание асфальтенов в пласте отсутствуют.

Учитывая широкое применение данной технологии за рубежом, изучение этих факторов является одной из приоритетных задач нефтегазовой отрасли. В мире проводится много исследований по изучению, анализу и разработке методов улучшения смесимости  $\text{CO}_2$  и нефти. При этом методики, определяющие единые требования и подходы к проведению исследований, отсутствуют.

Одним из отрицательных эффектов применения  $\text{CO}_2$  является снижение фильтрационных характеристик пласта из-за агрегации ассоциатов асфальтенов. Она усиливается в области давлений, соответствующих минимальному давлению смесимости.

Проблемой также является то, что результаты исследований нельзя экстраполировать на другие нефтяные залежи. Количество  $\text{CO}_2$ , которое может раствориться в нефти и воде, а также риски выпадения асфальтенов, определяются конкретными характеристиками месторождения[5].

Третичное заводнение с помощью  $\text{CO}_2$  обычно обеспечивает постепенное восстановление примерно от 8 % до примерно 16 % первоначальной нефти на месте. При использовании  $\text{CO}_2$  вместо заводнения для вторичного восстановления месторождения может производиться до 40% исходной нефти на месте.

Обычно при нагнетании углекислого газа используют  $\text{CO}_2$  при существующих давлениях в трубопроводе, а затем вводят его в продуктивный пласт. Когда существующие давления в трубопроводе недостаточно высоки для введения  $\text{CO}_2$  в пласт, давление  $\text{CO}_2$  повышают с помощью насоса. В существующей технологии бустерной закачки с плотной фазой  $\text{CO}_2$  используются многоступенчатые центробежные или поршневые насосы с дорогостоящими двойными торцевыми уплотнениями в сочетании с системами уплотнения с высоким давлением и системами охлаждения нефти.

Термодинамические условия, существующие в некоторых нефтяных пластах, позволяют углекислый газ переходить в сверхкритическое состояние (СКФ), что обуславливает его преимущества перед другими газовыми агентами, не достигающими данного состояния в пластовых условиях. Это обусловлено сравнительно низкими критическими давлением и температурой  $\text{CO}_2$ , составляющими, соответственно,  $P_{кр.}=7,38$  МПа и  $T_{кр.}=31,1^\circ\text{C}$ . Благодаря переходу в состояние СКФ- $\text{CO}_2$  обеспечивается эффективное снижение вязкости нефти в пластовых условиях.

В ходе изучения возможности применения газоциклической закачки  $\text{CO}_2$  на месторождениях Самарской области были проведены лабораторные эксперименты по определению влияния  $\text{CO}_2$  на изменение динамической вязкости образцов нефти при пластовых температуре и давлении. Для примера рассмотрим определение снижения динамической вязкости нефти при атмосферном давлении и следующих температурах:  $20^\circ\text{C}$  и пластовой для соответствующей скважины. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Снижение динамической вязкости нефти в пластовых условиях при газоциклической закачке сжиженного диоксида углерода.

| Нефть                                              | Давление МПа | Температура °С | Содержание CO <sub>2</sub> % масс | Вязкость мПа·с |
|----------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------------------------|----------------|
| Скважина 301<br>(до обработки CO <sub>2</sub> )    | 0,1          | 20             | 0                                 | 481,6          |
|                                                    |              | 25             | 0                                 | 330,9          |
|                                                    |              | 46             | 0                                 | -              |
| Скважина 301<br>(после обработки CO <sub>2</sub> ) | 12,9         | 25,7           | 5                                 | 217,2          |
|                                                    |              | 25,7           | 20                                | 76,9           |
|                                                    |              | 25,7           | 40                                | 35,2           |
| Скважина 402<br>(до обработки CO <sub>2</sub> )    | 0,1          | 20             | 0                                 | 1197           |
|                                                    |              | 25,7           | 0                                 | -              |
|                                                    |              | 46             | 0                                 | 218            |
| Скважина 402<br>(после обработки CO <sub>2</sub> ) | 15,9         | 46             | 5                                 | 151,9          |
|                                                    |              | 46             | 20                                | 55,6           |
|                                                    |              | 46             | 40                                | 12,4           |

Нагнетание CO<sub>2</sub> был испытан с рециркулированием CO<sub>2</sub> под давлением 1910 фунт на квадратный дюйм при давлении всасывания и нагнетания, изменяющемся от 2060 до 2200 фунтов на квадратный дюйм. Насос поставлял около 1300 баррелей CO<sub>2</sub> в сутки в течение 344 дней. Общая измеренная производительность насоса за 344 дневную работу составила 1,09 миллиарда кубических футов плотной фазы CO<sub>2</sub>. Хотя настоящее изобретение и его преимущества описаны достаточно подробно, следует понимать, что здесь могут быть сделаны различные изменения, замены и изменения без отклонения от сущности и объема изобретения, как определено прилагаемой формулой изобретения.

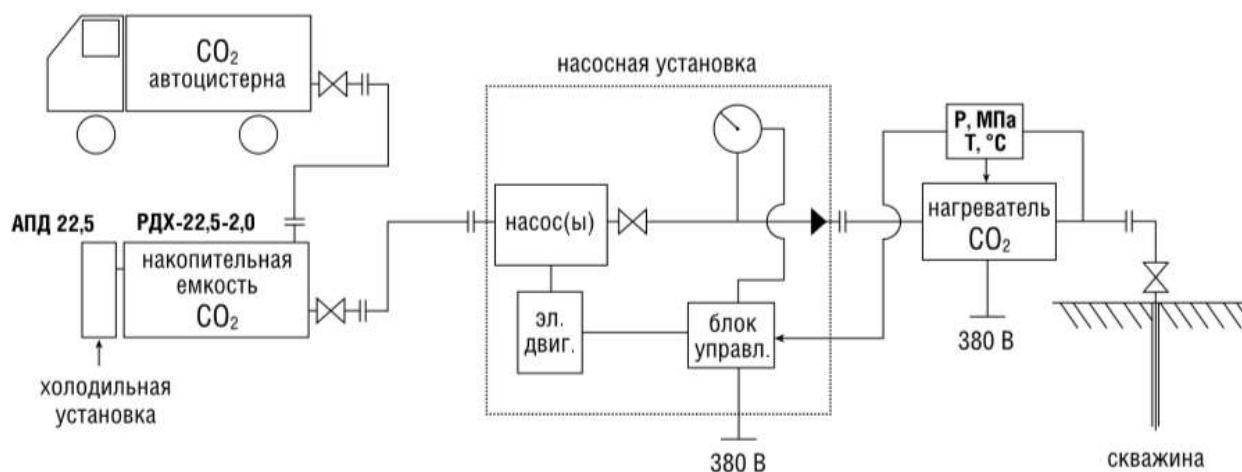


Рисунок 1. Схема мобильной насосной установки для закачки CO<sub>2</sub> в добывающие нефтяные скважины

Другими характеристиками источника CO<sub>2</sub>, существующими параметрами всасывания насоса и другими физическими свойствами, соответствующими этому примеру, являются: давление на входе насоса = 1835 фунтов на квадратный дюйм; диапазон температуры CO<sub>2</sub> (градусы F) = от +40 (зима) до около +80 (летом); плотность CO<sub>2</sub>=85 (фунт / куб.фут); удельный вес при 60 град. F = 0,7522; молекулярная масса = 41,190; скорость потока = 3,5 миллиона стандартных кубических футов в день [6].

**Выводы.** Результаты показали, что чем выше исходная вязкость нефти, например, 330,9 мПа·с со скважины 301 и 785,1 мПа·с со скважины 402, тем в большей степени наблюдается эффект снижения вязкости, например, при вязкости нефти в пластовых условиях 217,2 мПа·с и 151,9 мПа·с при 5% содержания диоксида углерода, вязкость нефти после воздействия

диоксида углерода снизилась до 35,2 мПа·с и 12,4 мПа·с при 40 % содержания диоксида углерода в нефти

Кроме того, было выявлено, что СКФ-СО<sub>2</sub> обладает рядом преимуществ: не токсичен, не горюч, не взрывоопасен, дешев и доступен. Сверхкритический диоксид углерода можно считать экологически чистым растворителем.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хлебников В.Н., Зобов П.М., Хамидуллин И.Р. и др. Перспективные регионы для осуществления проектов по хранению парниковых газов в России. Башкирский химический журнал// 2009. Т.16. №2. С.73-80.
2. ПРОЕКТ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ (13-18 горизонты)  
Отчет по договору № 487-17 от 03.03.2006г.- Актау 2006 г
3. Сидорова К.И. Экономическая оценка использования технологии утилизации углекислого газа в нефтяных месторождениях для повышения нефтеотдачи, диссертация на соискание ученой степени к. э. н., ФГБОУ ВПО Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, 2016 г.
4. Афанасьев С.В., Сергеев С.П., Волков В.А. Современные направления производства и переработки диоксида углерода // Химическая техника. Межотраслевой журнал для главных специалистов предприятий. 2016. №11. С. 30 – 32.
5. Нефть: свойства, способы добычи и переработки [Электронный ресурс] : [сайт]. - Режим доступа: <https://xn--80aegj1b5e.xn--p1ai/publication/neft-svoystva-sposoby-dobychi-i-pererabotki>
6. Ситнов, А. И. Цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] : [сайт]. - Режим доступа: [https://digital.runeft.ru/5\\_2021/sitnov](https://digital.runeft.ru/5_2021/sitnov)

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-120-123

ӘОЖ 004.77

## ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫНЫҢ АРХИТЕКТУРАСЫ

**ТҰРСЫНБАЙ НҰРҚАНАТ ЕРЖАНҰЛЫ**

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект кафедрасының 2 курс білімгері, АЖАқ 211 топ,  
Ақпараттық жүйелердің архитектурасы БББ

Ғылыми жетекші: **ТОКАНОВ МАНСУР МАРАТОВИЧ**  
PhD, І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған қ.

**Аннотация:** Мақала мәліметтер қоры құрылымының архитектуралық аспектілеріне, оны енгізуге және түпкі пайдаланушының көзқарасы тұрғысынан басқаруға арналған. Әртүрлі деңгейдегі мәліметтер қорымен жұмыс істеудің технологиялық әдістері де қарастырылады: физикалық, логикалық және соңғы пайдаланушы.

**Кілттік сөздер:** ДҚБЖ, АЖЖ, үлестірілген деректер қорының архитектурасы, конструктор, мәліметтер базасының дизайны, деректер үлгілері.

Мәліметтер базасы құрылымының сәулеттік аспектілеріне, оны түпкі пайдаланушының көзқарасы бойынша жүзеге асыруға және басқаруға арналған. Деректер базасында сақталған деректер кейбір деректерді ұсыну моделімен сипатталады. Классиктердің қатарына келесі деректер модельдері кіреді: иерархиялық, желілік, реляциялық. Кем дегенде қандай да бір пайдалы жұмысты орындауға арналған қосымшалардың көпшілігі қандай да бір жолмен құрылымдалған ақпаратты немесе басқаша айтқанда, реттелген деректерді пайдаланады деп үлкен сенімділікпен айтуға болады. Мұндай деректер, мысалы, белгілі бір өнімге тапсырыс беру тізімдері, ұсынылған және төленген шоттардың тізімдері немесе сіз білетін телефон нөмірлерінің тізімі болуы мүмкін. Сіздің қалаңыздағы автобустардың әдеттегі кестесі де реттелген мәліметтердің мысалы болып табылады.

Ақпаратты компьютерлік өңдеу кезінде қандай да бір жолмен реттелген деректер дерекқорда сақталады - арнайы файлдарда, оларды пайдалану Арнайы бағдарламалық құралдармен бірге пайдаланушыға қажетті ақпаратты көруге және қажет болған жағдайда оны басқаруға, мысалы, қосуға, өзгертуге, көшіруге, жоюға, сұрыптауға және т. б. мүмкіндік береді. Осылайша, сіз мәліметтер базасына қарапайым анықтама бере аласыз. Деректер базасы-бұл бір немесе басқа жолмен ұйымдастырылған ақпарат жиынтығы. Мүмкін, Дерекқордың ең қарапайым мысалдарының бірі сіздің таныс телефондарыңыз бар ноутбук болуы мүмкін. Мүмкін сізде қазір немесе бұрын-соңды бұл пайдалы нәрсе болған шығар. Ноутбукта алфавиттік ретпен берілген телефон иелері мен олардың телефон нөмірлерінің фамилияларының бұл тізімі, әдетте, индекстелген мәліметтер базасы болып табылады. Индексті пайдалану-бұл жағдайда Тегі (немесе аты) сізге қажетті телефон нөмірін тез табуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, әртүрлі деңгейлердегі мәліметтер базасымен жұмыс істеудің технологиялық әдістері қарастырылады: физикалық, логикалық және соңғы пайдаланушы. Деректер базасының технологиясын физикалық деңгейде жетілдіру компьютерлік техниканың қарқынды дамуымен қамтамасыз етіледі. Біріншіден, тікелей қол жетімді сыртқы сақтау құрылғыларының пайда болуы пайдаланушыларды магниттік таспаларда сақталған сериялық қол жеткізу файлдарынан магниттік дискілерде сақталған еркін қол жеткізу файлдарына ауысуға итермеледі. Екіншіден, ақпарат бірлігін сақтау құнының тез төмендеуі деректер базасының өсуіне әкелді.

Деректер базасын іске асырудың логикалық деңгейінің дамуы қуатты дерекқорды басқару жүйелерінің (ДҚБЖ) пайда болуымен байланысты. Алғашқы ДҚБЖ шамамен 60 жылдары бұрын пайда болды және тек экономикалық емес құрылымның мәліметтер

базасымен жұмыс істеуге мүмкіндік берді. Содан кейін желілік деректер моделі бар ДҚБЖ және соңында төртінші буын бағдарламалау тілдерін қолданатын реляциялық ДҚБЖ пайда болды.

Соңғы пайдаланушы деңгейінде дамыған мәліметтер базасы олармен жұмыс істеудің интерактивтілік деңгейімен анықталады. АЖЖ-ны қолданушыға сұраныстарды жіберуге және сақталған деректерді нақты уақыт режимінде өзгертуге мүмкіндік беретін байланыс жүйесі ретінде қарастыруға болады.

Деректер базасымен жұмыс істейтін конструктор бір уақытта бірнеше файлға қол жеткізуі керек. Бұл талап жүйені іске асыруға айтарлықтай шектеулер қояды. Дискілердің жадын бөлу кез-келген нақты қолданбаға байланысты болмауы керек. Жүйеде деректерді нақты сипаттауға және форматтарды анықтауға арналған құралдар болуы керек. Бұл базаның құрылымына тек логикалық ғана емес, физикалық деңгейде де әсер етеді. Деректер базасымен жұмыс істеудің көп пайдаланушылық режимінің дамуымен оларға жаңа талаптар туындады. Атап айтқанда, дерекқордың толықтығын және сәтсіздіктерден кейін қалпына келтіруді қамтамасыз ететін құралдар барлық қолданбалы бағдарламалардан тәуелсіз болуы керек. Таратылған мәліметтер базасы үшін деректердің барлық сақталған көшірмелерін түрлендірудің синхрондылығы мәселесі туындайды. Сонымен қатар, таратылған мәліметтер базасының архитектурасы сақталған ақпараттың дұрыстығын және минималды артықтығын қамтамасыз етуі керек. Интерактивті АЖЖ-ны қолданушыға құрамында жұмыс істейтін мәліметтер базасына пайдаланушының жылдамдығы, дайындығы және ыңғайлылығы тұрғысынан жоғары талаптар қойылады.

Дерекқорды жобалауға қатысты тәсіл тиімді, өйткені ол деректер модельдерін динамикалық түрде құруға және өзгертуге мүмкіндік береді. Деректермен жұмыс істеу барысында сіз жаңа қатынастарды анықтай аласыз. Реляциялық деректер базасында транзакцияларды өңдеу кезінде қарама-қайшылықты күй кезеңдері өте қысқа. Пайдаланушыға ұсынылған жобалық мәліметтер оларды қабылдаудың тиімділігін қамтамасыз ететін және осы пайдаланушының қолданбалы міндеттерінің сипатына сәйкес келетін пішінге айналдырылуы керек. Деректер алынған дереккөз ықшам, жақсы ұйымдастырылған, құрылымдалған, өзекті және сенімді болуы керек, физикалық логикалық және терминалды пайдаланушының үш деңгейі ұсынылған. Мұнда жүйенің физикалық және логикалық ресурстарына қол жеткізудің екі нұсқасы көрсетілген - жергілікті және телекоммуникациялық.

Деректердің ықшамдылығын, ұйымдастырылуын, құрылымын, өзектілігі мен сенімділігін сақтау мәліметтер базасымен жұмыс істейтіндердің барлығының функциясына кіреді. Жүйенің мұндай кейін сақтаудың әртүрлі стратегиялары бар. Өздеріңіз білетіндей, интерактивті АЖЖ-да мәліметтер базасында сақталған нысандар әзірленген өнімнің тәжірибелік үлгісі ретінде қолданылады. Осы:

1. мұндай объектілерге қолжетімділік жүйенің пайдаланушының сұратуына реакциясының аз уақытын қамтамасыз етуге тиіс;

2. ақпараттық модель онымен жұмыс істейтін барлық пайдаланушылардың: әзірлеушілердің, конструкторлардың, технологтардың, жабдықтаушылардың, техникалық басшылардың қажеттіліктеріне сәйкес дамуы және жетілдірілуі тиіс.

Ақпараттық объектілер жалпы мәліметтер базасы негізінде құрылады және белгілі бір пайдаланушының кәсіби мүдделеріне сәйкес таңдалған және оның міндеттерін шешуге жарамды нысанға айналдырылған ақпарат көзі ретінде қызмет етеді. Мұндай ақпараттық объектілермен жұмыс істеу мүмкіндігі-конструкторлық дерекқорды ұйымдастыруға қойылатын ең жаңа талап.

Дерекқор архитектурасына бірінші және ең айқын талап етілетін нәрсе-деректерді бірнеше пайдаланушылармен бөлу қажеттілігі. Бөлу мыналарды қамтиды:

1. конструктор кітапханасының функцияларын орындайтын негізгі қойма, дайын конструкторлық құжаттардың үлкен мұрағаты, орталық деректер базасы;

2. автоматтандырылған жұмыс орындарына-деректерді қажетті жерге жеткізуге мүмкіндік беретін таратылған дерекқорлардың дамыған жүйесі;

3. ақпараттық объектілер картотекасы мен деректер сипаттамаларының функцияларын орындайтын, деректерді оларды өңдейтін бағдарламалармен байланыстыратын, деректерге қолжетімділікті саралауды және оларды қорғауды қамтамасыз ететін деректер сөздігін қамтуға тиіс.

Деректердің тәуелсіздігі олардың бөлінуін жеңілдетеді. Бұл әр түрлі пайдаланушыларға бірдей деректерді ұсынуға мүмкіндік береді, олардың әрқайсысы өзінің нақты талаптарына сәйкес ұйымдастырылған мәліметтермен жұмыс істейтін сияқты. Бұл жағдайда барлық қажетті деректер түрлендірулері ДҚБЖ арқылы жүзеге асырылады. Дизайн дерекқорына қойылатын негізгі талап-пайдаланушылар мен бағдарламашылар дерекқорда сақталғандарға тәуелді емес қолданбалы бағдарламаларды жасай алады: олардың номенклатурасы, синтаксисі немесе пішімі, семантикасы, оларға қол жеткізу тәсілі. Алайда, аталған деректердің барлық сипаттамалары қолданбалы бағдарламаға «белгілі» болуы керек. Бұл деректер элементін аты бойынша табуға болатын кезде және оның атрибуттары деректер сөздігінде болған кезде мүмкін. Мұндай деректер элементтері өзін-өзі анықтау деп аталады. Осылайша, деректер сөздігі қажетті құрал болып табылады. Оны пайдалану мәліметтер базасының архитектурасының қосымша күрделенуіне әкеледі:

1. Файлдардың физикалық мекен-жайларын анықтайтын каталогтар.

2. Деректер базасының семантикасын сипаттайтын сәйкестендіру бөлімдері.

3. Таратылған сәулет жүйесінде орындалатын процестермен деректер элементтерін байланыстыратын байланыстар.

4. Деректер базасының әкімшісіне оның жұмысын ұйымдастыруға және ақпаратты кездейсоқ жоғалудан да, рұқсатсыз кіруден де қорғауға мүмкіндік беретін басқару құралдары.

Деректер сөздігінде барлық мәліметтер базасы элементтері туралы ақпарат сақталады. Элементтердің сипаттамаларына олардың атаулары, мәліметтер типтері, ұзындығы және семантикасы кіреді. Сонымен қатар, мұндай сипаттамалар әкімшілік мақсаттар үшін қажет. ДҚБЖ ақпаратқа қол жеткізу тиімділігін айтарлықтай арттырады. Компьютерлік технологияның қазіргі даму деңгейінде мәліметтер базасын пайдалану режимі ең тиімді болып табылады, онда ол есептеу жүйесінің толық жүйемесін қамтамасыз етеді.

ДҚБЖ АЖЖ құрамында жұмыс істейді. Әдетте, олар дәл осындай жұмыс режимін қамтамасыз етеді.

ЖЖҚ құны төмендеген сайын онда және жинақтауыштарда сақталатын деректер көлемінің арақатынасы өзгереді: ЖЖҚ-да орналастырылған деректер көлемі үнемі өсіп отырады. Бұл процессордың жүктемесінің жоғарылауына және енгізу-шығару қарқындылығының төмендеуіне әкеледі.

Әдетте, магниттік дискілердегі сақтау құрылғылары сыртқы тікелей қол жеткізу дискілері ретінде қолданылады. Диск жетектерінің сыйымдылығы деректерді неғұрлым тығыз жазуға байланысты тез өседі, сондықтан мұндай құрылғылар дерекқорлары бар жүйелерде қолдануға ыңғайлы және үнемді. Алайда, сыртқы жадты экономикалық емес ұйымдастыру мүмкін, оның деңгейлері бір-бірінен сақтау құрылғыларының түрі мен қол жеткізуге кететін уақыт бойынша ерекшеленеді. Сыртқы жадтың мұндай ұйымдастырылуы мәліметтер базасын физикалық деңгейде икемді етуге мүмкіндік береді. Деректер базасының жад құрылымы жалпы ұғымдармен, компьютерлік техниканың болуымен, файлдардың құрылымымен және олармен жұмыс істейтін бағдарламалардың мақсатымен анықталады. Әдетте, бұл құрылымды жобалау кезінде ымыраға келу керек. Жақсы ойластырылған мәліметтер базасының архитектурасы және қолданбалы бағдарламалардың дамуын жеңілдетеді. Бұл жүйенің жалпы деректер құрылымын өзгертпей, деректердің сипаттамаларын және олармен орындалатын операцияларды бір деректер моделінен екіншісіне тиімді түрлендіруге мүмкіндік береді.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ЭЛЕКТРОНДЫҚ РЕСУРСТАР ТІЗІМІ:

1. [http://www.codenet.ru/progr/vbasic/vb\\_db/1.php](http://www.codenet.ru/progr/vbasic/vb_db/1.php)
2. <https://www.oracle.com/ru/database/what-is-database/>
3. <https://www.ozon.ru/product/konstruktorskie-bazy-dannyh-7445547/>

DOI 10.24412/3007-8946-2025-15-124-128

UOT 621.311.2.22

## İSTİ SU TƏCHİZATI SİSTEMLƏRİNDƏ ENERJİ QƏNAƏTLİ SİSTEMİN İŞLƏNMƏSİ

ƏLƏSGƏROV GÜLAĞA AĞAMI OĞLU

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin dosenti, Bakı, Azərbaycan

BAYRAMOV SEYİD FAZİL OĞLU

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin magistrantı, Bakı, Azərbaycan

**Xülasə.** Bildiyiniz kimi isti su təchizatı sistemlərində enerji itkisi sistemin səmərəliyinə mənfi təsir göstərir. Günümüzdə ənənəvi enerji mənbələrindən geniş istifadə olunur. İlk növbədə, bu enerji mənbələri ətraf mühitə zərərli təsir göstərir. Fosil yanacaqlarının yanması nəticəsində karbon dioksid və digər istixana qazları atmosfərə atılır, bu da iqlim dəyişikliklərinə səbəb olur. Digər tərəfdən, bu enerji mənbələrinin ehtiyatları məhduddur və zamanla tükənmə təhlükəsi ilə üzləşir.

Ayrıca, fosil yanacaq ilə işləyən sistemlər səmərəsizdir, çox miqdarda enerji itkiləri baş verir. Bu isə enerji istehsalının maliyyatını artırır. Xüsusilə, təbii qaz və kömür kimi resursların istifadə olunması yerli ekosistemlərə ziyan vura bilər. Sənaye müəssisələrini artırması ilə və yanacaq tələbatı artır. İstilik təchizatı sistemlərinin enerji ilə təmin edilməsi zamanı ətraf mühit və yaxındakı su mənbələri çirklənir. Bu zaman enerji sistemlərdə texniki xidmət və istismar xərcləri artır və istehsal bəha başa gəlir. Təchizatın kəsilməsi riski də bu sistemlərin zəif tərəflərindən biridir. Bu baxımdan isti su təchizatı sistemlərində ənənəvi enerji mənbələri ilə yeni texnologiyaların integrasiya olunması bu problemləri qismən aradan qaldıra bilər. Bu məqalədə problemin həlli kimi ənənəvi enerji mənbələri ilə günəş enerjili hibrid sistemlərin integrasiyasından söhbət gedir. Bu sistemin tətbiqi, daha çevik və davamlı enerji təminatı yaratmaq üçün vacib bir yanaşmadır. Bu cür hibrid sistemlər, ənənəvi enerji mənbələrinin və günəş enerjisinin birləşdirilməsini nəzərdə tutur. Bu integrasiya, enerji istehsalının daha çevik və sərfəli olmasına imkan verir. Məsələn, günəş enerjisi günəşli günlərdə isti su təmin etmək üçün istifadə edilə bilər, eyni zamanda ənənəvi enerji mənbələri (təbii qaz və ya elektrik) ehtiyat kimi istifadə oluna bilər, beləliklə, günəş enerjisinin olmadığı dövrlərdə enerji kəsintisi baş verməz.

**Açar sözlər:** isti su təchizatı, enerji itkisi, ənənəvi enerji mənbələri, fosil yanacaqlar, karbon dioksid, hibrid sistemlər, günəş enerjisi, bərpa olunan enerji, enerji təminatı, enerji integrasiyası.

## ENERGY EFFICIENT SYSTEM DEVELOPMENT IN HOT WATER SUPPLY SYSTEMS

ALASGAROV GULAGHA AGAMI

Associate Professor, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku,  
Azerbaijan

BAYRAMOV SEYİD FAZİL OĞLU

Master's student at Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku,  
Azerbaijan

**Summary.** As you know, energy losses in hot water supply systems negatively affect the efficiency of the system. Today, traditional energy sources are widely used. First of all, these energy sources have a harmful effect on the environment. As a result of the combustion of fossil fuels, carbon dioxide and other greenhouse gases are released into the atmosphere, which causes climate change. On the other hand, the reserves of these energy sources are limited and face the threat of depletion over time. In addition, systems powered by fossil fuels are inefficient, there are large

energy losses. This increases the cost of energy production. In particular, the use of resources such as natural gas and coal can damage local ecosystems. With the increase in industrial enterprises and the demand for fuel increases. When providing heat supply systems with energy, the environment and nearby water sources are polluted. At the same time, maintenance and operation costs in energy systems increase, and production becomes more expensive. The risk of supply interruptions is also one of the weaknesses of these systems. In this regard, the integration of new technologies with traditional energy sources in hot water supply systems can partially overcome these problems. This article discusses the integration of traditional energy sources with solar energy hybrid systems as a solution to the problem. The implementation of this system is an important approach to creating a more flexible and sustainable energy supply. Such hybrid systems involve the combination of traditional energy sources and solar energy. This integration allows energy production to be more flexible and cost-effective. For example, solar energy can be used to provide hot water on sunny days, while traditional energy sources (natural gas or electricity) can be used as a backup, so that there is no power outage during periods when solar energy is not available.

**Keywords:** hot water supply, energy loss, traditional energy sources, fossil fuels, carbon dioxide, hybrid systems, solar energy, renewable energy, energy supply, energy integration.

## GİRİŞ

İsti su sistemlərində enerjinin qənaətli olmamasının bir neçə əsas səbəbi mövcuddur. İlk növbədə, ənənəvi enerji mənbələri ilə işləyən su isitmə cihazları enerji səmərəliliyini aşağı salır. Elektrik və qazla işləyən sistemlər yüksək xərclərə və ekoloji problemlərə səbəb olur. Sonra, bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsinin məhdud olması və onların tətbiqi üçün ilkin investisiya tələb etməsidir. Günəş enerjisi və digər təmiz enerji mənbələri hələ geniş yayılmayıb. Digər bir amil, köhnə su qızdırıcıları və izolyasiya olunmamış boruların enerji itkisinə səbəb olmasıdır. Köhnəmiş texnologiyalar və təmir edilməmiş sistemlər enerjinin israfına yol açır. Ayrıca, istilik itkiləri suyun uzun müddət saxlanması və ya istifadə olunmadan qalması nəticəsində baş verir. İstilik mübadiləsi problemləri də enerjinin qənaətli istifadə edilməsinə mane olur. Bundan başqa, yüksək su tələbi və su itkisi enerji sərfiyyatını artırır. İnsanlar bəzən lazımsız yerə su istifadə edirlər. Eyni zamanda texniki nasazlıqlar və təmir ehtiyacı da enerjinin israfını artırır. Yararsız hala düşən sistemlər daha çox enerji sərf edir və səmərəsiz işləyir. Bütün bu problemləri aradan qaldırmaq üçün daha səmərəli texnologiyalar və bərpa olunan enerji mənbələri geniş tətbiq edilməlidir. Bu zaman su qızdırma sistemlərinin müntəzəm olaraq təmir və yenilənməsi vacibdir.

### İşin yerinə yetirilməsi və tədqiqi

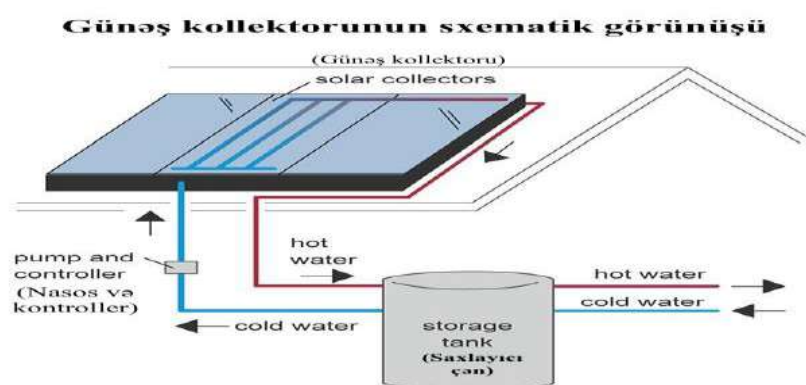
Məqalədə göstərilən problemlərin həlli ilə yanaşı, isti su təchizatı sistemlərində enerji qənaətini təmin edən sxemlərin işlənilib hazırlanmasına dair nəzəri və praktiki araşdırmalar haqqında qeydlər edilmişdir.

İsti su təchizatı sistemlərində ənənəvi enerji mənbələrinə günəş enerjisinin inteqrasiyası, problemin həll edilməsi üçün vacib şərtlərdən biridir.

İlk öncə isti su sistemlərində günəş enerjili hibrid sistemlərin xarakteristikasına nəzər salaq. Bu sistemlər, ənənəvi enerji mənbələri ilə günəş enerjisinin inteqrasiyası ilə yüksək enerji səmərəliliyi təmin edir və əməliyyat xərclərini azaldır. Bu sistemlər, günəş radiasiyasının dəyişkən olduğu dövrlərdə ənənəvi enerji mənbələrindən istifadə edərək istilik təminatını davam etdirir. Günəş kollektorları, enerji istehsalının günəş şüalarına bağlı olduğu hallarda yüksək səmərəliliklə işləyir, lakin radiasiyanın azaldığı vaxtlarda ənənəvi enerji mənbələri istilik təmin edir. Bu yanaşma, hər iki enerji mənbəyinin energetik istifadəsini təmin edərək, sistemin etibarlılığını və davamlılığını artırır. Hibrid sistemlərdə istifadə olunan günəş kollektorları və istilik pompası və ya qazlı su isitmə sistemləri kimi ənənəvi texnologiyalar yüksək istilik tələbatı olan sənaye tətbiqlərində də effektivdir. Bu cür inteqrasiya edilmiş yanaşma enerji israfını azaltmaqla yanaşı, uzunmüddətli iqtisadi fayda da təmin edir. Hibrid sistemlərin ekoloji üstünlükləri də böyükdür, çünki ənənəvi enerji mənbələrindən asılılığın azaldılması ilə karbon emissiyaları da azalır. Günəş enerjisi istifadəsinin genişləndirilməsi, təbii ehtiyatların qorunması və ətraf mühitin mühafizəsi baxımından

mühüm rol oynayır. Lakin, bu sistemlərin ilkin quraşdırılma xərcləri yüksək ola bilər, bu da bəzi istifadəçilər üçün tətbiqini məhdudlaşdırır. Ümumilikdə, günəş enerjili hibrid sistemlər, xüsusilə, ev təsərrüfatları və sənaye müəssisələri üçün davamlı və etibarlı istilik təminatını mümkün edir.

İsti su sistemlərində günəş enerjisindən istifadə üçün müxtəlif komponentlərdən ibarət integrasiya olunmuş sistemlər qurulmaqla enerji səmərəliliyi artırılır. İlk növbədə, günəş kollektorları günəş radiasiyasını istilik enerjisinə çevirən əsas komponentdir. Bu kollektorlar (Şəkil 1), günəş enerjisinin toplanmasını təmin edir və istehsal olunan istiliyi suya ötürmək məqsədilə müxtəlif materiallardan hazırlanır. Kollektorlar arasında düz lövhə kollektorları və konsentrasiyaedici kollektorlar xüsusilə geniş istifadə olunur. Bundan əlavə, bu sistemlərdə olan istilik dəyişdiriciləri, kollektorlar tərəfindən toplanan istiliyin suya ötürülməsini təmin edən komponentlərdir. Bu komponentlər, kollektor tərəfindən təmin edilən istiliyin suya ötürülməsini və suyun tələb olunan temperaturlarda saxlanılmasını təmin edir. Sistem daxilində suyun hərəkətini təmin etmək üçün pompa sistemləri istifadə olunur. Bu pompalar, suyun kollektorlar və istilik dəyişdiricisi arasında dövrən etməsini təmin edərək istilik ötürülməsinin effektivliyini artırır.



Şəkil 1. Günəş kollektorunun sxematik görünüşü

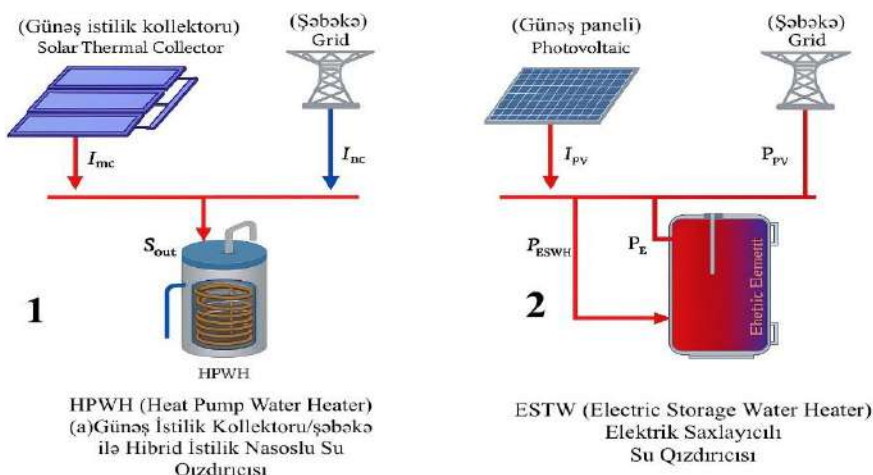
Bundan əlavə (şəkl. 1) nəzər salsaq saxlayıcı çənin sxematik şəkilini görürük. Bu çənlər qızdırılmış suyu saxlamaq və tələb olunduqda istifadəyə vermək üçün vacib olan komponentlərdəndir. Bunlar izolyasiya olunmuş materiallardan hazırlanaraq saxlanılan suyun istiliyinin uzun müddət qorunmasını təmin edir. Kontrol və tənzimləmə sistemləri isə sistemin optimal iş şəraitini təmin etmək üçün kollektorların istilik istehsalını və suyun temperaturunu nəzarətdə saxlayır. Bundan əlavə, saxlama və təmizləmə sistemləri suyun təmizliyini təmin etmək məqsədilə istifadə edilir. Bu sistemlər suyun kirli olmasının qarşısını alır və sistemin davamlı və effektiv işləməsini təmin edir. Günəş radiasiyası sensorları, kollektorların effektivliyini ölçmək və sistemin optimal işləməsini təmin etmək üçün günəş radiasiyasının intensivliyini təyin edən mühüm alətlərdir. Ümumiyyətlə, günəş enerjili hibrid sistemlərin tətbiqi, əsasən, 2 sistem üzrə aparıla bilər.

1. Solar Thermal-Heat Pump Water Heater (Günəş Termal Enerjisi və İstilik Nasosu ilə Təchiz Olunmuş Su Qızdırıcısı)

2. Solar-Electric Tank Water (Günəş və Elektrik Enerjisi ilə Təchiz Olunmuş Çən Tipli Su Qızdırıcısı)

(HPWH) lardan danışsaq, bu sistemlər günəş şüalarının mövcud olduğu vaxtda günəş kollektorlarından istilik alır və suyu isidir. Günəş şüalarının olmadığı və ya qeyri-kafi olduğu hallarda isə istilik nasoslu su isidici (HPWH) sistemi işə düşərək istilik təminatını davam etdirir. Şəkil 2-də göstəriləndiyi kimi günəş kollektorları və istilik nasoslu su isidici (HPWH) sistemləri qarşılıqlı olaraq bir-birini əvəz edə bilən texnologiyalardır. Günəş kollektorları, ənənəvi enerji mənbələri ilə birləşdirilərək, həm ev təsərrüfatları, həm də sənaye sahələri üçün isti su istehsalını təmin etmək məqsədilə istifadə olunur. Bu hibrid sistemlər, günəş su isitmə sistemlərinin mövcud çatışmazlıqlarını aradan qaldırmaqla, onların iş səmərəliliyini artırmağa imkan verir. Düz lövhə kollektorları, əsasən ev təsərrüfatları üçün istifadə olunan ən geniş yayılmış günəş kollektorlarıdır,

konsentrasiya kollektorları isə yüksək temperatur tələb edən sənaye tətbiqlərində, məsələn, məkan istilikləndirməsi və ya proses buxar istehsalı kimi sahələrdə üstünlük təşkil edir. Belə bir hibrid yanaşma günəş şüalanmasının dəyişkənliyini nəzərə alaraq hər iki texnologiyanın effektiv istifadəsini təmin edir bu da istilik nasoslu su isidici sisteminin tələb dövrlərində istilik ehtiyatı kimi funksional olaraq fəaliyyət göstərməsinə imkan verir.



Şəkil 2. Bərpa olunan hibrid su texnologiyalarının sxeması

1.İsti su nasosları (Heat Pump Water Heater); 2. Elektrik su qızdırıcısı(Electric Storage Water Heater)  $I_{mc}$  -Günəş istilik kollektorundan gələn istilik axını;  $I_{nc}$ -Şəbəkədən gələn enerji axını;  $S_{out}$ -Çıxışdakı istilik enerjisi;  $I_{pv}$ -Günəş panelindən gələn istilik axını;  $P_{pv}$  -Şəbəkədən gələn enerji;  $P_{ESWH}$ -Elektrik su qızdırıcısına verilən enerji;  $P_E$ -Elektrik enerjisi.

Sxemdə göstərilən fotovoltaiyin normal günəş kollektorundan fərqi ondan ibarətdir ki,bu panellər günəş şüalarını birbaşa elektrik enerjisinə çevirir.

(ESTW) lərdən danışsaq, bu hibrid sxem isti suyun davamlı şəkildə sabit saxlamaq məqsədilə günəş su isidicisi,elektrikli su isidicisi və istilik saxlama sistemlərinin integrasiyasını təmin edir,bu da (Şəkil 2)-də göstərilmişdir. Bu sinergetik(komponentli) birləşmə, istifadəçiyə daimi isti su təmin edərək enerji təminatının etibarlılığını və səmərəliliyini artırır. Günəş su isidilməsi, zamanla dəyişən bir bərpa olunan enerji mənbəyi olaraq, günəş şüalanma intensivliyi, hava şəraiti və fotovoltaiyk (PV) hüceyrələrinin temperaturu kimi amillərdən təsirlənir. Bununla belə, günəş enerjisinin fasiləli olması və iqlim dəyişikliklərinə qarşı həssas olması, isti su istehsalı üçün əlavə istilik ehtiyatı sistemlərinin istifadəsini zəruri edir. Buna görə də, elektrikli tank su isidicisi (ETWH) günəş su isidicisi ilə birləşdirilərək, bu sistemin qeyri-müntəzəmliyini kompensasiya edir və eyni zamanda enerji qənaəti təmin edir. Elektrikli su isidicisinin istilik saxlama qabiliyyəti onu, xüsusilə,yaşayış evlərində üstün bir seçimə çevirir. Bu hibrid sistemlər, zamanla istifadə tariflərinə uyğun olaraq pik olmayan saatlarda işə düşəcək şəkildə dizayn edilmişdir. Beləliklə, optimal isti su təchizatı təmin edilərkən,enerji xərcləri azaldılır. Bu sistem konfigurasiyası, xüsusilə Cənubi Afrika, Nigeriya, Çin və Böyük Britaniya kimi ölkələrdə geniş şəkildə qəbul olunmuşdur.

#### Nəticə:

İsti su təchizatı sistemlərində enerji səmərəliliyinin artırılması və ətraf mühitə mənfi təsirlərin azaldılması məqsədilə ənənəvi enerji mənbələrinin günəş enerjisi ilə integrasiyası olduqca vacibdir. Ənənəvi sistemlərdə rast gəlinən enerji itkisi, yüksək istismar xərcləri və ekoloji zərərər bərpa olunan enerji mənbələrinin – xüsusilə günəş enerjisinin – tətbiqini zəruri edir. Məqalədə göstəriləyi kimi, hibrid sistemlər (günəş enerjili + elektrik və ya qazla işləyən su qızdırıcıları) bu sahədə uğurlu həll yollarından biridir. Belə sistemlər çevik və davamlı istilik təminatı yaradır, günəş radiasiyasının qeyri-sabit olduğu hallarda belə enerji kəsintisinin qarşısını alır. Eyni zamanda günəş kollektorları, istilik dəyişdiriciləri, su dövrəni üçün nasoslar, izolyasiya olunmuş saxlayıcı çənlər və temperatur

tənzimləyici sistemlər bu hibrid qurğuların əsas funksional komponentləridir. Xüsusilə, Heat Pump Water Heater (HPWH) və Electric Storage Tank Water Heater (ESTWH) tipli sistemlər, günəş enerjisinin fasiləli təbiətinə qarşı dayanıqlılıq yaradır və pik saatlarda enerji xərclərini minimuma endirir. Bu sistemlərin ilkin qurulum xərcləri yüksək olsa da, uzunmüddətli perspektivdə həm iqtisadi, həm də ekoloji cəhətdən faydalıdır. Bu yanaşma enerji təhlükəsizliyi, karbon emissiyalarının azaldılması, resursların səmərəli istifadəsi və ekoloji davamlılığın təmin edilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Günəş enerjili hibrid sistemlərin geniş tətbiqi, xüsusilə yaşayış və sənaye sahələrində enerji qənaətini təmin edərək gələcəkdə bərpa olunan enerjiyə keçidi sürətləndirə bilər.

### **Conclusion:**

In order to increase energy efficiency and reduce negative environmental impacts in hot water supply systems, it is very important to integrate traditional energy sources with solar energy. The energy losses, high operating costs and environmental damage encountered in traditional systems necessitate the use of renewable energy sources – especially solar energy. As shown in the article, hybrid systems (solar + electric or gas water heaters) are one of the successful solutions in this area. Such systems create flexible and continuous heat supply, preventing power outages even in cases of unstable solar radiation. At the same time, solar collectors, heat exchangers, water circulation pumps, insulated storage tanks and temperature control systems are the main functional components of these hybrid devices. In particular, Heat Pump Water Heater (HPWH) and Electric Storage Tank Water Heater (ESTWH) type systems create resilience to the intermittent nature of solar energy and minimize energy costs during peak hours. Although the initial installation costs of these systems are high, they are both economically and environmentally beneficial in the long term. This approach is of particular importance in terms of energy security, reducing carbon emissions, efficient use of resources and ensuring environmental sustainability. The widespread implementation of solar hybrid systems can accelerate the transition to renewable energy in the future, providing energy savings, especially in residential and industrial sectors.

### **ƏDƏBİYYAT**

1. Hybrid Technologies for Water Heating Applications(Su İsitmə Tətbiqləri üçün Hibrid Texnologiyalar)
2. Wanjiru, M., Sichilalu, S., and Xia, X., “Optimal control of heat pump water heater-instantaneous shower using integrated renewable-grid energy systems”, Applied Energy, 201: 332–342, (2017).
3. Solar Energy and Its Application(Günəş Enerjisi və Onun Tətbiqi) Kalogirov, (2009). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123745019/solar-energy-engineering>
4. Renewable Energy Systems(Bərpa Edilən Enerji Mənbələri) Lund Henrik (2014). Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions. <https://www.sciencedirect.com/book/9780124104235/renewable-energy-systems>
5. Cəlilov M.F. Alternativ regenerativ enerjilər. «Enerji menecmenti (binalarda)» magistr ixtisaslaşması üçün dərslər vəsaiti.Bakı:AZMİU 173-176s [http://anl.az/el/c/cm\\_ares.pdf](http://anl.az/el/c/cm_ares.pdf)
6. Hybrid Renewable Energy Systems: Concepts, Analysis, and Design.( Hibrid Bərpa Olunan Enerji Sistemləri: Konseptlər, Təhlil və Dizayn.)
7. Lanyu Li, Xiaonan Wang (2021) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211339821000010>

## СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

|                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>КОПАТЬ Д.Я</b> [ГРОДНО, БЕЛАРУСЬ] ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ БЕССЕЛЯ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОЖИДАЕМЫХ ДОХОДОВ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСТОЧНИКОМ ПОВТОРНЫХ ВЫЗОВОВ.....                                                                                                        | 3  |
| <b>СМАЙЛОВА УЛЖАН УСЕНАЛИЕВНА, ҚУАН АЙЯ ЖЕКСЕНҚЫЗЫ</b> [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ҮШІН ЭКСПРЕССИВТІ ҚҰРАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ЖАЛПЫ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІНІҢ ТӘСІЛДЕРІ.....                                                               | 8  |
| <b>MIKABERIDZE MALKHAZ SHOTAEVICH</b> [GEORGIA] IMPROVEMENT OF THE CORN STARCH PRODUCTION PROCESS.....                                                                                                                                                                  | 11 |
| <b>ПЕРМЕБАЕВА ДИЛЬНАЗ НҰРЛАНҚЫЗЫ, АБДУГУЛОВА ЖАНАТ КАППАРОВНА</b> [АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН] МЕТАЛДЫ ТІКЕЛЕЙ ЛАЗЕРЛІК БАЛҚЫТУ КЕЗІНДЕ ПРОЦЕСТІҢ САПАСЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ АҚАУЛАРДЫ АНЫҚТАУ.....                                                                                    | 17 |
| <b>ЛЕВЧЕНКО ИЛЬЯ ВЛАДИСЛАВОВИЧ, СИВЯКОВА ГАЛИНА АЛЕКСАНДРОВНА</b> [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ПРОКАТА НА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦАХ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ.....                                                                      | 27 |
| <b>ЛЕВЧЕНКО ИЛЬЯ ВЛАДИСЛАВОВИЧ, БАТЫРБЕК ЭЛІБЕК ЕСІМБЕКҰЛЫ, ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА</b> [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ.....                                                                                         | 30 |
| <b>FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, BATYRBEEK ALIBEK ESIMBEKYLY, LEVCHENKO ILYA VLADISLAVOVICH</b> [TEMIRTAU, KAZAKHSTAN] DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR FLYING SHEARS FOR CUTTING HOT STRIP – DATA VISUALIZATION USING VOSVIEWER.....                         | 37 |
| <b>TYNYSTANOVA NAGIMA YERLANKYZY, KHAMIT ARUZHAN ZHANDOSKYZY, UAZHANOVA RAUSHAN ULANGAZIEVNA, UIKASSOVA ZAIRA SATAYEVNA, ZHOGIBAEVA SHAPAGAT KADIRKYZY</b> [ALMATY, KAZAKHSTAN] IDENTIFICATION METHODS AND DEVICE STATUS MONITORING: SECURITY AND FAULT PREDICTION..... | 43 |
| <b>ABEUOV NURBEK, AKBAROV BAISULTANBEKMYRZAKHAN, IMANBAYEV TEMIRLAN, MAKHANOV K.M</b> [ASTANA, KAZAKHSTAN] CALCULATION OF THE DIELECTRIC CONSTANT OF MATERIALS BY THE NICHOLSON-ROSS-WEIR METHOD.....                                                                   | 47 |
| <b>KHURSHID ABDULLAEV</b> [TASHKENT] QUESTIONS OF MODELING THE PROCESS OF TRANSFER OF MOBILE SAND OVER THE EMBANKMENT OF AUTOMOBILE ROADS.....                                                                                                                          | 60 |
| <b>РҒЫЗБАЕВА МЕНСУЛУ ДАХАТОВНА, БОНДАРЬ ИВАН СЕРГЕЕВИЧ</b> [АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН] ИСТОРИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНИЦ ОБЛАСТЕЙ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ МЕЖДУНАРОДНОГО И РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЗНАЧЕНИЯ КАЗАХСТАНА.....                                                                  | 64 |

|                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>РАХИМҒАЛИЕВА АЙЗАТ ЕРБОЛАТҚЫЗЫ, М. Ж. КИКИМБАЕВ</b> [АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН] ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ МОРАЛЬ.....                                                                                                                                               | 72  |
| <b>SAMAROV XUSNUTDIN QAMARDINOVICH, SALIMOV ZAYNIDDIN ILYOS O'G'LI</b> [TOSHKENT, O'ZBEKISTON] KIBERXAVFSIZLIK LABORATORIYA MASHG'ULOTLARINI AVTOMATLASHTIRISH UCHUN MIKROSERVIS ARHITEKTURALI PLATFORMANI ISHLAB CHIQUISHNING TEXNIK ASOSLARI.....         | 76  |
| <b>ХАМИТ АРУЖАН ЖАНДОСҚЫЗЫ, ТЫНЫСТАНОВА НАГИМА ЕРЛАНҚЫЗЫ, ИБРАИМОВА САНИЯ ЕРБОЛАТОВНА, БИҒАЛИЕВА ҚҰРАЛАЙ АЗАМАТҚЫЗЫ, УАЖАНОВА Р. У.</b> [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] ТАҒАМ ӨНЕРКӘСІБІНДЕГІ АУАНЫҢ ЛАСТАНУЫ: АУАНЫ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ДЕЗИНФЕКЦИЯЛАУ ӘДІСТЕРІН ЖАҒАРТУ..... | 80  |
| <b>ҚОЖАГЕЛДІ БОЛАТ ЖАРЫЛКАПУЛЫ, ОМАРОВ ЖАҚСЫЛЫҚ ТАЛҒАТҰЛЫ, ЕСКУЛОВА САУЛЕ ШАЙЗАДАЕВНА, АКМАТОВ КАНАТБЕК НУРБЕКОВИЧ, БИЯШИМОВ САПАРГУЛИ</b> [ТАРАЗ, КАЗАХСТАН] ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА.....                | 83  |
| <b>ЕРКЕБҰЛАН НҰРМАН, Б.К. ДУЙСЕНБЕКОВ, Ф.Х. АУБАКИРОВА</b> [ШЫМКЕНТ, КАЗАХСТАН] ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПОТОКА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ.....                                                                                             | 87  |
| <b>ИДИРҒАЛИЕВА АЙДАНА АЙБАРҚЫЗЫ, АУБАКИРОВА БАХЫТ МАЙНЫШЕВНА</b> [АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН] СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРПРОНИЦАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИХ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ.....                                                              | 91  |
| <b>ӘНЕСОВА ЖҰЛДЫЗ ЕРБОЛАТҚЫЗЫ, АУБАКИРОВА БАХЫТ МАЙНЫШЕВНА</b> [АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН] ПЛОСКИЕ ПЛИТЫ С ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРОЙ.....                                                                                                                                | 95  |
| <b>ЭРГАСHEBA САБИНА ЗУРОБОВНА, СЕРЖАНОВА ҚҰРАЛАЙ ШАРХАНҚЫЗЫ</b> [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] ИНФУЗИЯЛЫҚ ЕРІТІНДІЛЕР ӨНДІРІСТІК УЧАСКЕСІН ЦЕХІШІЛІК ЭЛЕКТРМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕСІН ЖОБАЛАУ.....                                                                          | 99  |
| <b>ТӨЛЕУБЕК ЗАРЕМА АҚБОЛАТҚЫЗЫ, КАЗИМОВА Д.А</b> [ҚАРАҒАНДЫ, ҚАЗАҚСТАН] БІЛІМ БЕРУДІҢ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ ЖАҒДАЙЫНДА АРАЛАС ОҚЫТУДЫ ЖЕТІЛДІРУ ("ИНФОРМАТИКА" ОҚЫТУ ПӘНІ РЕТІНДЕ).....                                                                   | 103 |
| <b>САМКЕНОВ ДАНИЯР АНАРБЕКОВИЧ, АРУОВА ЛЯЗАТ БОРАНБАЕВНА</b> [АСТАНА, КАЗАХСТАН] ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....                                                                                        | 105 |
| <b>СЕЙТХАН ЕРЗАТ НУРАЛЫҰЛЫ, ТЛЕУБАЕВА А.К.</b> [АСТАНА, КАЗАХСТАН] ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ КРОВЛИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ: АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....                               | 109 |
| <b>ИХСАНОВ КАЙРБЕК АЙТЖАНОВИЧ, КАДЫРОВ ТИМУР ХАЙДАРОВИЧ</b> [УРАЛЬСК, КАЗАХСТАН] УВЕЛИЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОТДАЧИ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА ЗАКАЧКОЙ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА.....                                                                                                 | 114 |



**ТҰРСЫНБАЙ НҰРҚАНАТ ЕРЖАНҰЛЫ, ТОКАНОВ МАНСУР МАРАТОВИЧ [ТАЛДЫҚОРҒАН, ҚАЗАҚСТАН] ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫНЫҢ АРХИТЕКТУРАСЫ.....120**

**ƏLƏSGƏROV GÜLAĞA AĞAMİ OĞLU, BAYRAMOV SEYİD FAZİL OĞLU [BAKİ, AZƏRBAYCAN] İSTİ SU TƏCHİZATI SİSTEMLƏRİNDƏ ENERJİ QƏNAƏTLİ SİSTEMİN İŞLƏNMƏSİ.....124**

# "IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

## Контакт

[els.education23@mail.ru](mailto:els.education23@mail.ru)

## Наш сайт

[irc-els.com](http://irc-els.com)

international scientific centre "Endless light in science"

