

ISSN 1560-5655



Ұ Л Т Т Ы Қ  
М Е М Л Е К Е Т Т І К  
Ғ Ы Л Ы М И - Т Е Х Н И К А Л Ы Қ  
С А Р А П Т А М А О Р Т А Л Ы Ғ Ы

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЕРТИЗЫ



# ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫНЫҢ ЖАҢАЛЫҚТАРЫ

ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛ

# НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

1  
2024



Ұлттық мемлекеттік ғылыми-техникалық  
сараптама орталығы

Национальный центр государственной  
научно-технической экспертизы

---

ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫНЫҢ  
ЖАҢАЛЫҚТАРЫ

ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛ

НОВОСТИ НАУКИ  
КАЗАХСТАНА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1(160)

Алматы 2024

Научно-технический журнал «**Новости науки Казахстана**» публикует статьи по следующим направлениям фундаментальных и прикладных исследований: технические и сельскохозяйственные науки, науки о Земле, пищевая и перерабатывающая промышленность, экономика, науковедение, стандартизация и пр.

**Журнал основан в 1989 г. И выходит 4 раза в год.**

Предназначен для профессорского-преподавательского состава Вузов, докторов PhD, магистрантов, студентов и сотрудников научно-исследовательских институтов, предприятий и организаций, а также работников министерств и ведомств.

### **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**М.Т. Велямов** (главный редактор),  
доктор биологических наук, профессор, академик МОН РК  
**Л.Н. Гребцова** (редактор)  
**М.Д. Рублева** (ответственный секретарь)

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Р.Г. Бияшев**, д.т.н.; **К.А. Исаков**, д.т.н.;  
**К.Д. Досумов**, д.х.н., проф.;  
**С.Е. Соколов**, д.т.н., акад. МАИН;  
**Б.Р. Ракишев**, д.т.н., акад. НАН РК;  
**Ж.С. Алимкулов**, д.т.н.;  
**З.С. Абишева**, д.т.н.; проф., член-корр. НАН РК;  
**Ю.А. Юлдашбаев**, д.с.-х.н. (Россия);  
**М.А. Рахматуллаев**, д.т.н. (Узбекистан);  
**А. Сладковски**, д.т.н., проф. (Польша);  
**Д. Пажес**, гл. специалист (Франция)

Республика Казахстан, 050026, г. Алматы,  
ул. Богенбай батыра, 221  
Тел./факс: +8 727 222-1102, 378-0549 (вн. 141),  
e-mail: [l.grebtsova@ncste.kz](mailto:l.grebtsova@ncste.kz)  
[m.rubleva@ncste.kz](mailto:m.rubleva@ncste.kz), [www.vestnik.nauka.kz](http://www.vestnik.nauka.kz)

НЦГНТЭ, 2024



## ***Уважаемые коллеги!***

Сегодня мы анонсируем возобновление выпуска научного издания «Новости науки Казахстана».

В силу определенных обстоятельств, знакомых каждому учредителю и издателю журнальной продукции, произошёл перерыв в один год в выпуске журнала.

Хочу напомнить, что первый номер журнала «Новости науки Казахстана» увидел свет в 1989 году. С того момента вышло 155 номеров.

Издание позиционировалось как межотраслевой научный журнал, публикующий

результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, научные статьи фундаментального и прикладного характера, обзорные работы отечественных и зарубежных авторов. Журнал с 2003 года входил в списки вышестоящих уполномоченных органов, рекомендуемых для публикаций.

Области публикаций охватывали такие направления, как информатика, строительство, машиностроение, сельское и лесное хозяйство, экология, экономика, науки о земле, химия, биология, пищевая и перерабатывающая промышленность, водное и рыбное хозяйство, кибернетика и др.

Вызовы и требования времени показали необходимость полного апгрейда издания, в том числе разработку современной электронной версии журнала, обеспечение быстрого открытого доступа ко всем архивным номерам, повышение качества научных публикаций и рецензий. Изменились требования к сотрудникам редакции, редакционной коллегии, политике учредителей. Журналу потребовалась разработка новой стратегии.

Мы прилагаем усилия, чтобы, сохранив лучшие традиции, журнал стал современным научным изданием, востребованным среди учёных, и мог достойно представлять научные и научно-технологические разработки казахстанских исследователей на всех уровнях.

Сегодня научные издания Казахстана переживают ответственный момент. С одной стороны – повышение значимости наукометрических показателей для научных коллективов и отдельных учёных стимулирует научное сообщество к публикациям, в том числе в национальных изданиях. Такие публикации становятся важным условием не только осуществления научной деятельности, но и одним из критериев её оценки.

С другой стороны – существуют риски, что научное издание, не су-

мев адаптироваться к новым вызовам, останется на периферии научной жизни. Будет существовать только для того, чтобы некоторые учёные могли публиковать свои работы, указывать их в резюме и проектных заявках.

Между тем, именно опубликованные в научных журналах статьи становятся главным инструментом обмена научной, научно-технологической информацией на мировом, региональном, страновом уровнях и индикаторами общего состояния науки.

В 2022 г. в базу данных Emerging Sources Citation Index вошли 12 казахстанских журналов. В Казахстанской базе цитирования зарегистрировано 183 издания.

Наши научные журналы являются отражением общей ситуации в сфере науки. Соблюдения одних технических требований для поддержки бренда научного издания уже недостаточно, оно должно быть видимым в научном сообществе, достойно представлять нашу науку на международной арене. Успех научного журнала зависит от содержания научных статей, квалификации и репутации рецензентов, членов редакционной коллегии.

В условиях развития информационных технологий и коммуникаций появляются новые возможности в издательском деле, меняются правила игры, меняется время от подачи научной статьи в редакцию до публикации её на сайте издания. Сегодня выигрывают те издания, которые развиваются, внедряя новые технологические разработки, обеспечивая доступность и открытость своего контента для целевой аудитории.

Приступая к возобновлению выпуска журнала «Новости науки Казахстана», мы постараемся учесть все эти моменты и создать новую, обновленную, современную версию научного издания.

Обращаюсь к научному сообществу Казахстана с призывом поддерживать наш журнал качественными публикациями, рецензиями, предложениями и рекомендациями.

Во время подготовки обновленной версии журнала, встречаясь с коллегами, обсуждая вопросы, связанные с изданием научного контента в стране, стало понятно, что в этой сфере накопилось достаточно проблем, требующих обсуждения.

Поэтому выхожу с предложением о создании Клуба издателей/редакторов научных журналов Казахстана, который должен стать диалоговой площадкой, дискуссионным центром по обсуждению и выработке общих стратегий развития научных издательств, обмена опытом между редакциями, выработке общих этических принципов в сфере научных публикаций.

**Арман Кашкинбеков,  
председатель Правления АО «НЦГНТЭ»**

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### КИБЕРНЕТИКА

*Избасарова А.Ж., Кудайкулов А.К., А. А. Ташев А.А.*  
Автоматизация исследования термо-напряженного состояния  
стержня при воздействии локальных тепловых потоков,  
теплообменов  
с учетом наличия локальных теплоизоляций.....6

### ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Юров В.М., Жангозин К.Н., Жанабергенов Т.К., Каргин Д.Б.*  
Поверхностные явления в графите и получение из него графена ... 19

### ГОРНОЕ ДЕЛО

*Майдуков Г.Л., Болбат В.Н., Григорюк М.Е.*  
Анализ состояния и основные принципы воспроизводства  
государственного фонда действующих шахт  
углепромышленных территорий .....43

### ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

*Капизов О.С., Азат С., Аскарулы Қ., Жанतिकеев У.Е.,  
Керимкулова А.Р.*  
Характеристики аморфного кремнезёма полученного  
из рисовой шелухи.....60

### ЭКОЛОГИЯ

*Казакбаева Т.М.*  
Основные направления рационального использования водных  
ресурсов в Республике Казахстан.....76

---

## **МАЗМҰНЫ**

### **КИБЕРНЕТИКА**

*Избасарова А.Ж., Кудайкулов А.К., Ташев А.А.*

Жергілікті жылу ағындарының, жылу алмасулардың әсері кезінде  
өзектің термо-кернеулі күйін зерттеуді автоматтандыру.....6

### **ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ**

*Юров В.М., Жанғозин К.Н., Жаңабергенев Т.Қ., Каргин Д.Б.*

Графиттегі беттік құбылыстар және одан графен алу .....19

### **ТАУКЕН ІСІ**

*Майдуков Г.Л., Болбат В.Н., Григорюк М.Е.*

ДХР-ның көмір өндіруші аумақтарындағы жұмыс істеп тұрған  
шахталардың мемлекеттік қорын жаңғыртудың жай-күйі мен негізгі  
принциптерін талдау.....43

### **ТАМАҚ ӨНЕРКӘСІБІ**

*Капизов Ө.С., Азат С., Аскарулы Қ., Жантیکеев У.Е.,*

*Керимкулова А.Р.*

Күріш қабығынан алынған аморфты кремнеземнің  
сипаттамалары .....60

### **ЭКОЛОГИЯ**

*Казакбаева Т.М.*

Қазақстан Республикасы су ресурстарын тиімді пайдаланудың негізгі  
бағыттары.....76

---

## CONTENT

### CYBERNETICS

*Izbassarova A.Z., Kudaykulov A.K., Tashev A.A*  
Automation studies of thermo-stressed state of the core when exposed  
to local heat fluxes, heat transfer.....6

### CHEMICAL TECHNOLOGY

*Yurov V.M., Zhangozin K.N., Zhanabergenov T.K., Kargin D.B.*  
Surface phenomena in graphite and obtaining graphene from it .....19

### MINING

*Maidukov G.L., Bolbat V.N., Grigoryuk M.E.*  
State analysis and basic principles of reproduction state fund of  
operating coal mines territories .....43

### FOOD INDUSTRY

*Kapizov O.S., Azat S., Askaruly K., Zhantykeev U.E.,  
Kerymkulova A.R.*  
Characteristics of amorphous silica obtained from rice husks.....60

### ECOLOGY

*Kazakbayeva T.M.*  
Main directions for rational use of water resources in the Republic of  
Kazakhstan.....76



*Избасарова А.Ж.<sup>1</sup>, Кудайкулов А.К.<sup>2</sup>, Ташев А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup> ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты ,  
Алматы қ., Қазақстан

## **ЖЕРГІЛІКТІ ЖЫЛУ АҒЫНДАРЫНЫҢ, ЖЫЛУ АЛМАСУЛАРДЫҢ ӘСЕРІ КЕЗІНДЕ ӨЗЕКТІҢ ТЕРМО-КЕРНЕУЛІ КҮЙІН ЗЕРТТЕУДІ АВТОМАТТАНДЫРУ**

---

**Түйіндеме:** Энергетикалық қондырғылардың көптеген көтергіш элементтері жергілікті жылу ағындарының және конвективті жылу алмасулардың әсерінен болады. Оның салдарынан шектелген ұзындықтағы өзек түрінде көтергіш элементтерде термо-кернеулі деформацияланған күй пайда болады. Сондықтан арнайы есептеуіш алгоритмдерін және шектеулі ұзындықтағы өзекшелерді автоматтандырылған зерттеудің тиісті бағдарламаларын әзірлеу өзекті болып табылады. Бұл ретте әзірленген жүйе зерттелетін өзектің физика-механикалық және геометриялық сипаттамаларын және бір мезгілде жергілікті конвективті жылу алмасудың болуын ескеруі тиіс. Бұл жұмыста энергияны сақтаудың іргелі заңдары қолданылады. Әзірленген есептеуіш алгоритмі IBM PC Python бағдарламасы түрінде жүзеге асырылады. Алынған нәтижелер кестелер түрінде ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** автоматтандыру, кесте, график, Python программасы.

• • •

**Аннотация:** Многие несущие элементы энергетических установок находятся под воздействием локальных тепловых потоков и конвективных теплообменов. Вследствие чего в несущих элементах в виде стержней ограниченной длины возникает термо-напряженно деформированное состояние. Поэтому разработка специальных вычислительных алгоритмов и соответствующих программ автоматизирующих исследования стержня ограниченной длины является актуальной. При этом разработанная система должна учитывать физико-механические и геометрические характеристики исследуемого стержня и одновременного наличия локальных конвективных теплообменов. В данной работе применяются фундаментальные законы сохранения энергии. Разработанный вычислительный алгоритм реализуется на IBM PC в виде Python программы. Полученные результаты представляется в виде таблиц и графиков.

**Ключевые слова:** автоматизация, таблица, графика, Python программа.

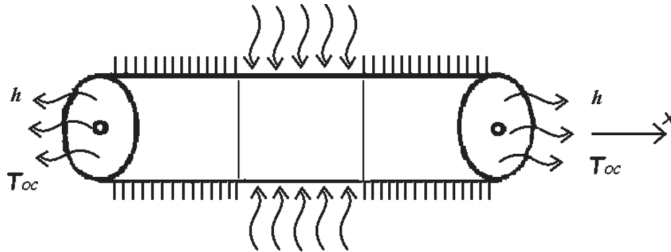
• • •

**Abstract:** Many load-bearing elements of power plants are influenced by local heat flows and convective heat exchangers. Because of this, a deformed thermo-stress state is formed in the bearing elements in the form of a rod of limited length. Therefore, it is important to develop special computational algorithms and corresponding programs for automated research of rods of limited length. At the same time, the developed system must take into account the physical-mechanical and geometric characteristics of the studied core and the simultaneous presence of local convective heat exchange. This work uses the fundamental laws of energy saving. The developed calculation algorithm is implemented in the form of an IBM PC Python program. The results are presented in tables.

**Keywords:** automation, table, graph, Python program.

**Кіріспе.** Қазіргі заман энергетикалық құрылғылардың өндіріс орындарындағы технологиялық процестерде негізі жылу көздері әсер етеді. Сондықтан, энергетикалық құрылғылар мен қайта өңдеу технологиялық линиялардағы тірек құрылымдары сенімді жұмыс жасауы үшін олардың термомеханикалық күйлерін зерттеу технологияларын жасау қажет. Бұл зерттеу технологиялары негізгі фундаменталдық заңдардың негізінде құрылуы қажет. Энергетикалық құрылғылар мен өндіріс технологияларындағы линиялардың сенімді жұмыс жасауын алдын ала болжау үшін, жылу көздері әсеріндегі негізі құрылым элементтерің, термомеханикалық күйлерін зерттеудің автоматикалық жүйелерін құру қажет. Бұндай жүйелерді құру осы зерттеудің өзекті мәселесі болып табылады.

**Зерттеу әдістері.** Шектеулі ұзындығы  $L$  [см] өзек түрінде және тұрақты көлденең қимасы  $F$  [см<sup>2</sup>] конструкцияның салмақ түсетін элементі қарастырылады. Өзектің физикалық-механикалық қасиеттері өзек материалының жылу өткізгіштік коэффициенті  $k_{xx} \left[ \frac{\text{Ватт}}{\text{см} \cdot \text{°C}} \right]$ , жылу кеңею  $\alpha \left[ \frac{1}{\text{°C}} \right]$ , және серпімділік модулі  $E \left[ \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right]$  зерттелетін өзек  $l = \frac{L}{3}$  [см] бірдей ұзындығының үш элементімен дискретизирленеді. ОХ осін солдан оңға бағыттаймыз. Ол өзектің осіне сәйкес келеді. Өзектің көлденең сол және оң жақ шеттерінің аудандары арқылы оларды қоршаған ортамен жылу алмасуы жүреді. Бұл жағдайда жылу алмасу коэффициенттері  $h = \left[ \frac{\text{Ватт}}{\text{см}^2 \cdot \text{°C}} \right]$ , ал қоршаған ортаның температурасы  $T_{0c}$  [°C]. Сонымен қатар, өзектің екінші (орта) элементінің бүйір бетіне тұрақты қарқындылықпен  $q \left[ \frac{\text{Ватт}}{\text{см}^2} \right]$  жылу ағыны жүргізіледі. Өзектің бірінші және үшінші элементтерінің бүйір беті толығымен жылу оқшауландырылған. Зерттелетін тапсырманың есептік схемасы-1-суретте келтірілген [1].



1-сурет – Тапсырманың есептік схемасы

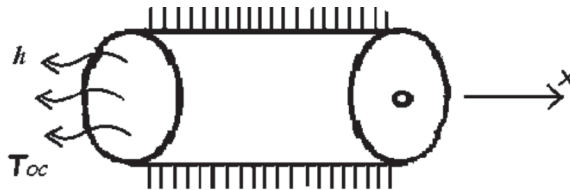
Әрбір дискретті элементтің ұзындығына ыңғайлы болу үшін температураның таралу заңы жергілікті координаттар жүйесіндегі квадраттық сплайн функциясының көмегімен аппроксимациялаймыз.

$$T(x) = \varphi_i(x)T_i + \varphi_j(x)T_j + \varphi_k(x)T_k = \frac{2x^2-3lx+l^2}{l^2}T_i + \frac{4lx-4x^2}{l^2}T_j + \frac{2x^2-lx}{l^2}T_k, \quad 0 \leq x \leq l. \quad (1)$$

мұнда жергілікті координаттар жүйесінде (бір дискретті элементтің ұзындығы шегінде)

$$T_i = T(x=0); T_j = T\left(x = \frac{l}{2}\right); T_k = T(x=l).$$

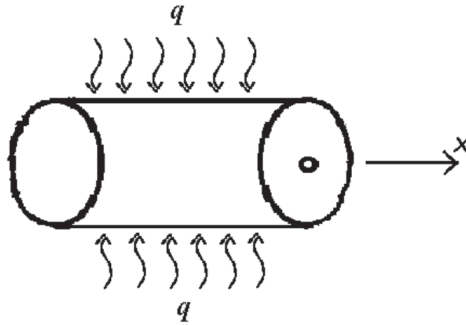
Әрбір дискретті элементтің ұзындығына қарай температура өрісін анықтауды автоматтандыру үшін сақтау заңы қолданылады. Мысалы, зерттелетін өзектің бірінші дискретті элементін қарастырайық.



Бұл элемент үшін толық жылу энергиясының функционалы келесі түрге ие болады [1].

$$I_1 = \int_{S'(x=0)} \frac{h}{2} (T - T_{oc})^2 dS + \int_{V_1} \frac{k_{xx}}{2} \left(\frac{dT}{dx}\right)^2 dV = \frac{Fh}{2} (T_1 - T_{oc})^2 + \frac{Fk_{xx}}{6l} (7T_1^2 - 16T_1T_2 + 2T_1T_3 - 16T_2T_3 + 16T_2^2 + 7T_3^2). \quad (2)$$

Енді зерттелетін өзектің екінші дискретті элементін қарастырайық.



Бұл элемент үшін толық жылу энергиясы функционалының келесі түрге ие:

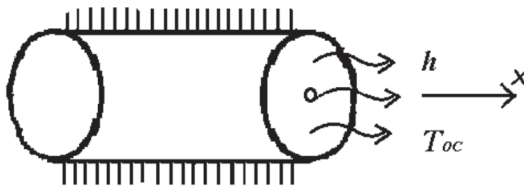
$$I_2 = \int_{S_{\text{поп}}2} qT dS' + \int_{V_2} \frac{k_{xx}}{2} \left(\frac{dT}{dx}\right)^2 dV.$$

Мұнда  $S_{\text{поп}}2$  - екінші дискретті элементтің бүйірлік бетінің ауданы.

$I_2$  функционалының интеграцияланған түрі мынадай болады:

$$I_2 = \frac{\pi r q l}{3} (T_3 + 2T_4 + T_5) + \frac{F k_{xx}}{6l} (7T_3^2 - 16T_3T_4 + 2T_3T_5 - 16T_4T_5 + 16T_4^2 + 7T_5^2). \quad (3)$$

Үшінші дискретті элементті қарастырайық.



Үшінші элемент үшін толық жылу энергиясының функционалы келесі түрге ие:

$$I_3 = \int_{S(x=L)} \frac{h}{2} (T - T_{0c})^2 dS + \int_{V_3} \frac{k_{xx}}{2} \left(\frac{dT}{dx}\right)^2 dV = \frac{Fh}{2} (T_7 - T_{0c})^2 + \frac{Fk_{xx}}{6l} (7T_5^2 - 16T_5T_6 + 2T_5T_7 - 16T_6T_7 + 16T_6^2 + 7T_7^2). \quad (4)$$

Сонда зерттелетін өзек үшін толық жылу энергиясының функционалы келесі түрге ие:  $I = I_1 + I_2 + I_3$ . (5)

(2-4) формулаларында мыналар орын алады:

$$T_1 = T(x = 0); T_2 = T\left(x = \frac{l}{2}\right); T_3 = T(x = l); T_4 = T\left(x = \frac{3l}{2}\right);$$

$$T_5 = T(x = 2l); T_6 = T\left(x = \frac{5l}{2}\right); T_7 = T(x = 3l = L).$$

Энергияны сақтау заңын орындау жағдайына байланысты мынадай

$$\frac{dT_i}{dt} = 0; (i = 1 \div 7). \quad (6)$$

Енді осы теңдеулер жүйесін құрамыз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dT_1} = 0; & \Rightarrow \frac{Fk_{xx}}{3l} (7T_1 - 8T_2 + T_3) + FhT_1 = FhT_{OC}; \\ \frac{dy}{dT_2} = 0; & \Rightarrow \frac{Fk_{xx}}{6l} (-8T_1 - 8T_3 + 16T_2) = 0; \\ \frac{dy}{dT_3} = 0; & \Rightarrow \frac{Fk_{xx}}{3l} (T_1 - 8T_2 + 14T_3 - 8T_4 + T_5) = -\frac{\pi rql}{3}; \\ \frac{dy}{dT_4} = 0; & \Rightarrow \frac{Fk_{xx}}{3l} (-8T_3 - 8T_5 + 16T_4) = \frac{2\pi rql}{3}; \\ \frac{dy}{dT_5} = 0; & \Rightarrow \frac{Fk_{xx}}{3l} (T_3 - 8T_4 + 14T_5 - 8T_6 + T_7) = -\frac{\pi rql}{3}; \\ \frac{dy}{dT_6} = 0; & \Rightarrow \frac{Fk_{xx}}{3l} (-8T_5 - 8T_7 + 16T_6) = 0; \\ \frac{dy}{dT_7} = 0; & \Rightarrow \frac{Fk_{xx}}{3l} (T_5 - 8T_6 + 7T_7) + FhT_7 = FhT_{OC}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Немесе шағын жеңілдетуден кейін мынаны аламыз

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{7k_{xx}}{3l} + h\right) T_1 - \frac{8k_{xx}}{3l} T_2 + \frac{k_{xx}}{3l} T_3 &= hT_{OC}; \\ T_1 - 2T_2 + T_3 &= 0; \\ T_1 - 8T_2 + 14T_3 - 8T_4 + T_5 &= -\frac{ql^2}{rk_{xx}}; \\ T_3 - 2T_4 + T_5 &= -\frac{2ql^2}{rk_{xx}}; \\ T_3 - 8T_4 + 14T_5 - 8T_6 + T_7 &= -\frac{ql^2}{rk_{xx}}; \\ T_5 - 2T_6 + T_7 &= 0; \\ T_5 - 8T_6 + \left(7 + \frac{3hl}{k_{xx}}\right) T_7 &= \frac{3hT_{OC}l}{k_{xx}}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(8) жүйені шешу арқылы  $T_i, (i = 1 \div 7)$ . тораптық мөндері анықталады. Кейін үш дискретті элементтердің ұзындығы бойынша температураның таралу заңдары анықталады [3].

$$\left. \begin{aligned} T^I(x) &= \frac{2x^2-3lx+l^2}{l^2} T_1 + \frac{4lx-4x^2}{l^2} T_2 + \frac{2x^2-lx}{l^2} T_3, \\ T^{II}(x) &= \frac{2x^2-3lx+l^2}{l^2} T_3 + \frac{4lx-4x^2}{l^2} T_4 + \frac{2x^2-lx}{l^2} T_5, \\ T^{III}(x) &= \frac{2x^2-3lx+l^2}{l^2} T_5 + \frac{4lx-4x^2}{l^2} T_6 + \frac{2x^2-lx}{l^2} T_7, \end{aligned} \right\} 0 \leq x \leq l. \quad (9)$$

Енді өзектің бір ұшы қатты-қорғалған болса, онда оның термиялық ұзаруын анықтаймыз.

$$\Delta l_T = \int_0^l \alpha T(x) dx = \int_0^l \alpha T^I(x) dx + \int_0^l \alpha T^{II}(x) dx + \int_0^l \alpha T^{III}(x) dx = \frac{\alpha l}{6} (T_1 + 4T_2 + 2T_3 + 4T_4 + 2T_5 + 4T_6 + T_7). \quad (10)$$

Егер өзектің екі ұштары да қатты-қорғалған болса, онда өзек ұзара да және , қысқара да алмайды. Бірақ жылу кеңеюінен осьтік қысу күші  $R$  [кг] пайда болады. Оның мәні деформацияның үйлесімділігінен анықталады [2].

$$R = \frac{\Delta l_T E F}{L} \quad (11)$$

мұнда  $L$  - өзектің ұзындығы;  $E$  - өзек материалының серпімділік модулі;  $F$  - көлденең қиманың ауданы. (10) -ды (11)-ге қою арқылы мынаны аламыз:

$$R = \frac{\alpha E F l}{6L} (T_1 + 4T_2 + 2T_3 + 4T_4 + 2T_5 + 4T_6 + T_7) \quad (12)$$

Бұл жағдайда өзек қимасында  $\sigma \left[ \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right]$  термо-серпімді құраушы кернеу пайда болады. Оның мәні Гуктың жалпыланған заңына сәйкес анықталады.

$$\sigma = \frac{R}{F} = \frac{\alpha E l}{6L} (T_1 + 4T_2 + 2T_3 + 4T_4 + 2T_5 + 4T_6 + T_7)$$

Содан кейін термо-серпімді деформация да Гук заңы бойынша анықталады.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{\alpha l}{6L} (T_1 + 4T_2 + 2T_3 + 4T_4 + 2T_5 + 4T_6 + T_7) \quad (14)$$

(14) формуладан деформация өлшемсіз болатындығы көрінеді. Жылу физикасының іргелі заңы негізінде деформацияның температуралық құрамдас бөлігінің таралу заңы анықталады

$$\varepsilon_T(x) = -\alpha T(x) \frac{\alpha}{l^2} \left[ \begin{aligned} &(2x^2 - 3lx + l^2)(T_1 + T_3 + T_5) + (4lx - 4x^2) \\ &(T_2 + T_4 + T_6) + (2x^2 - lx)(T_3 + T_5 + T_7) \end{aligned} \right] \quad 0 \leq x \leq l. \quad (15)$$

Сонда Гук Заңына сәйкес зерттелетін өзектің ұзындығы бойынша кернеудің температуралық құраушының таралу заңы келесідей анықталады.

$$\sigma_T(x) = E \cdot \varepsilon_T(x) = -\frac{\alpha E}{l^2} [(2x^2 - 3lx + l^2)(T_1 + T_3 + T_5) + (4lx - 4x^2)(T_2 + T_4 + T_6) + (2x^2 - lx)(T_3 + T_5 + T_7)],$$

$$0 \leq x \leq l. \quad (16)$$

Серпімді құраушы деформацияны анықтау заңын термосерпімді іргелі заңдары негізінде зерттелетін өзектің ұзындығы бойынша анықтауға болады.

$$\varepsilon_x(x) = \varepsilon - \varepsilon_T(x) = \frac{\alpha l}{6L} (T_1 + 4T_2 + 2T_3 + 4T_4 + 2T_5 + 4T_6 + T_7) + \frac{\alpha}{l^2} [(2x^2 - 3lx + l^2)(T_1 + T_3 + T_5) + (4lx - 4x^2)(T_2 + T_4 + T_6) + (2x^2 - lx)(T_3 + T_5 + T_7)], \quad 0 \leq x \leq l. \quad (17)$$

Сонда өзек ұзындығы бойынша кернеудің серпімді құраушысының таралу заңы Гук заңы негізінде анықталады [1].

$$\sigma_x(x) = E \cdot \varepsilon_x(x) = \frac{\alpha E l}{6L} (T_1 + 4T_2 + 2T_3 + 4T_4 + 2T_5 + 4T_6 + T_7) + \frac{\alpha E}{l^2} [(2x^2 - 3lx + l^2)(T_1 + T_3 + T_5) + (4lx - 4x^2)(T_2 + T_4 + T_6) + (2x^2 - lx)(T_3 + T_5 + T_7)], \quad 0 \leq x \leq l. \quad (18)$$

Қозғалу өрісін анықтау үшін әрбір дискретті элементке серпімді деформацияның әлеуетті энергиясының функционалын жазамыз. Мысалы, бірінші дискретті элемент үшін функционалдың келесі түрге ие:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \int_{V_1} \frac{\sigma_x}{2} \varepsilon_x^{(l)} dV - \int_{V_1} \alpha E T^{(l)}(x) \cdot \varepsilon_x^{(l)} dV = \int_{V_1} \frac{E \varepsilon_x^{(l)}}{2} \varepsilon_x^{(l)} dV - \int_{V_1} \alpha E T^{(l)}(x) \cdot \varepsilon_x^{(l)} dV \\ &= \frac{EF}{2} \int_0^l [\varepsilon_x^{(l)}]^2 dV - \alpha EF \int_0^l T^{(l)}(x) \cdot \varepsilon_x^{(l)} dx = \frac{EF}{2} \int_0^l \left[ \frac{\partial U^{(l)}}{\partial x} \right]^2 dx - \\ &\alpha EF \int_0^l T^{(l)}(x) \cdot \frac{\partial U^{(l)}}{\partial x} dx = \frac{EF}{2l^2} \int_0^l [(4x - 3l)U_1 + (4l - 8x)U_2 + (4x - l)U_3] \cdot \\ &[(4x - 3l)U_1 + (4l - 8x)U_2 + (4x - l)U_3] dx - \frac{\alpha EF}{l^4} \int_0^l [(2x^2 - 3lx + l^2)T_1 + \\ &(4lx - 4x^2)T_2 + (2x^2 - lx)T_3] \cdot [(4x - 3l)U_1 + (4l - 8x)U_2 + (4x - l)U_3] dx = \frac{EF}{2l^4} \int_0^l [(16x^2 - 24lx + 9l^2)U_1^2 + (80lx - 64x^2 - 24l^2 + \\ &48lx)U_1U_2 + (32x^2 - 32lx + 6l^2)U_1U_3 + (48lx - 8l^2 - 64x^2)U_2U_3 + \\ &(16l^2 - 64lx + 64x^2)U_2^2 + (16x^2 - 8lx + l^2)U_3^2] dx - \frac{\alpha EF}{l^4} \int_0^l [(8x^3 - 6lx^2 - \\ &12lx^2 + 9l^2x + 4l^2x - 3l^3)T_1U_1 + (8lx^2 - 16x^3 - 12l^2x + 24lx^2 + 4l^3 - \\ &8l^2x)T_1U_2 + (8x^3 - 2lx^2 - 12lx^2 + 3l^2x + 4l^2x - l^3)T_1U_3 + (16lx^2 - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 12l^2x - 16x^3 + 12lx^2)T_2U_1 + (16l^2x - 32lx^2 - 16lx^2 + 32x^3)T_2U_2 + \\
 & (16lx^2 - 4l^2x - 16x^3 + 4lx^2)T_2U_3 + (8x^3 - 6lx^2 - 4lx^2 + 3l^2x)T_3U_1 + \\
 & (8lx^2 - 16x^3 - 4l^2x + 8lx^2)T_3U_2 + (8x^3 - 2lx^2 - 4lx^2 + l^2x)T_3U_3]dx = \\
 & \frac{EF}{2l^4} \left[ \left( \frac{16x^3}{3} - 12lx^2 + 9l^2x \right) U_1^2 + \left( 40lx^2 - \frac{64x^3}{3} + 24lx^2 - 24l^2x \right) U_1U_2 + \right. \\
 & \left. \left( \frac{32x^3}{3} - 16lx^2 + 6l^2x \right) U_1U_3 + \left( 24lx^2 - 8l^2x - \frac{64x^3}{3} \right) U_2U_3 + \left( 16l^2x - \right. \right. \\
 & \left. \left. 32lx^2 + \frac{64x^3}{3} \right) U_2^2 + \left( \frac{16x^3}{3} - 4lx^2 + l^2x \right) U_3^2 \right] \Big|_0^l - \frac{\alpha EF}{l^4} \left[ \left( 2x^4 - 6lx^3 + \frac{13l^2x^2}{2} - \right. \right. \\
 & \left. \left. 3l^3x \right) T_1U_1 + \left( \frac{32lx^3}{3} - 4x^4 - 10l^2x^2 + 4l^3x \right) T_1U_2 + \left( 2x^4 - 6lx^3 + \frac{7l^2x^2}{2} - \right. \right. \\
 & \left. \left. l^3x \right) T_1U_3 + \left( \frac{28lx^3}{3} - 6l^2x^2 - 4x^4 \right) T_2U_1 + \left( 8l^2x^2 - 16lx^3 + 8x^4 \right) T_2U_2 + \right. \\
 & \left. \left( \frac{20lx^3}{3} - 2l^2x^2 - 4x^4 \right) T_2U_3 + \left( 2x^4 - \frac{10lx^3}{3} + \frac{3l^2x^2}{2} \right) T_3U_1 + \left( \frac{16lx^3}{3} - 4x^4 - \right. \right. \\
 & \left. \left. 2l^2x^2 \right) T_3U_2 + \left( 2x^4 - 2lx^3 + \frac{l^2x^2}{2} \right) T_3U_3 \right] \Big|_0^l = \frac{EF}{2l^4} \left[ \frac{7l^3}{3} U_1^2 + \frac{56l^3}{3} U_1U_2 + \right. \\
 & \left. \frac{2l^3}{3} U_1U_3 - \frac{16l^3}{3} U_2U_3 + \frac{16l^3}{3} U_2^2 + \frac{7l^3}{3} U_3^2 \right] - \frac{\alpha EF}{l^4} \left[ -\frac{l^4}{2} T_1U_1 + \frac{2l^4}{3} T_1U_2 - \right. \\
 & \left. \frac{3l^4}{2} T_1U_3 - \frac{2l^4}{3} T_2U_1 + \frac{2l^4}{3} T_2U_3 + \frac{l^4}{6} T_3U_1 - \frac{2l^4}{3} T_3U_2 + \frac{l^4}{2} T_3U_3 \right] = \frac{EF}{6l} (7U_1^2 + \\
 & 56U_1U_2 + 2U_1U_3 - 16U_2U_3 + 16U_2^2 + 7U_3^2) - \alpha EF \left( -\frac{1}{2} T_1U_1 + \frac{2}{3} T_1U_2 - \right. \\
 & \left. \frac{3}{2} T_1U_3 - \frac{2}{3} T_2U_1 + \frac{2}{3} T_2U_3 + \frac{1}{6} T_3U_1 - \frac{2}{3} T_3U_2 + \frac{1}{2} T_3U_3 \right).
 \end{aligned}$$

2-ші және 3-ші дискретті элемент үшін серпімді деформацияның әлеуетті энергиясы функционалының интеграцияланған түрі келесі түрге ие:

$$\begin{aligned}
 \Pi_2 = \frac{EF}{6l} (7U_3^2 + 56U_3U_4 + 2U_3U_5 - 16U_4U_5 + 16U_4^2 + 7U_5^2) - \alpha EF \left( -\frac{1}{2} T_3U_3 \right. \\
 \left. + \frac{2}{3} T_3U_4 - \frac{3}{2} T_3U_5 - \frac{2}{3} T_4U_3 + \frac{2}{3} T_4U_5 + \frac{1}{6} T_5U_3 - \frac{2}{3} T_5U_4 + \frac{1}{2} T_5U_5 \right). \quad (20)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Pi_3 = \frac{EF}{6l} (7U_5^2 + 56U_5U_6 + 2U_5U_7 - 16U_6U_7 + 16U_6^2 + 7U_7^2) - \alpha EF \left( -\frac{1}{2} T_5U_5 \right. \\
 \left. + \frac{2}{3} T_5U_6 - \frac{3}{2} T_5U_7 - \frac{2}{3} T_6U_5 + \frac{2}{3} T_6U_7 + \frac{1}{6} T_7U_5 - \frac{2}{3} T_7U_6 + \frac{1}{2} T_7U_7 \right). \quad (21)
 \end{aligned}$$

Содан кейін зерттелетін өзек үшін серпімді деформацияның әлеуетті энергиясын білдіру келесі түрге ие:

$$\Pi = \sum_{i=1}^3 \Pi_i \quad (22)$$

Өзектің екі ұшы қатты-қорғалғандықтан  $U_1=U_7=0$

Тіркелген қималардың орнын ауыстыру мәндері сызықты алгебралық теңдеулер жүйесінен анықталады:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial U_i} = i, i = 2 \div 6. \quad (23)$$



(24, 25) жүйені шешу арқылы  $U_i$ , ( $i = 1 \div 7$ ) мәндері есептеледі. Олар бойынша үш дискретті элементтердің ұзындығы бойынша жылжуды бөлу заңы анықталады.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Pi}{\partial U_2} = 0; &\Rightarrow \frac{EF}{6l}(-16U_3 + 32U_2) - \alpha EF \left( \frac{2}{3}T_1 - \frac{2}{3}T_3 \right) = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial U_3} = 0; &\Rightarrow \frac{EF}{6l}(-16U_2 + 28U_3 + 56U_4 + 2U_5) - \\ &\alpha EF \left( -\frac{3}{2}T_1 + \frac{2}{3}T_2 - \frac{2}{3}T_4 + \frac{1}{6}T_5 \right) = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial U_4} = 0; &\Rightarrow \frac{EF}{6l}(56U_3 - 16U_5 + 32U_4) - \alpha EF \left( \frac{2}{3}T_3 - \frac{2}{3}T_5 \right) = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial U_5} = 0; &\Rightarrow \frac{EF}{6l}(24U_3 - 16U_4 + 28U_5 + 56U_6 + 2U_7) - \\ &\alpha EF \left( -\frac{3}{2}T_3 + \frac{2}{3}T_4 - \frac{2}{3}T_6 + \frac{1}{6}T_7 \right) = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial U_6} = 0; &\Rightarrow \frac{EF}{6l}(56U_5 - 16U_7 + 32U_6) - \\ &\alpha EF \left( -\frac{2}{3}T_5 - \frac{2}{3}T_7 \right) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$$\left. \begin{aligned} U^I(x) &= \frac{4lx-4x^2}{l^2}U_2 + \frac{2x^2-lx}{l^2}U_3, \\ U^{II}(x) &= \frac{2x^2-3lx+l^2}{l^2}U_3 + \frac{4lx-4x^2}{l^2}U_4 + \frac{2x^2-lx}{l^2}U_5, \\ U^{III}(x) &= \frac{2x^2-3lx+l^2}{l^2}U_5 + \frac{4lx-4x^2}{l^2}U_6, \end{aligned} \right\} 0 \leq x \leq l. \quad (25)$$

**Зерттеу нәтижелері.** Баяндалғанды апробациялау үшін келесі бастапқы деректерді қабылдаймыз.

$$\begin{aligned} L &= 30\text{см}; n = 3; l = \frac{L}{n} = 10\text{см}; T_{OC1} = 20^\circ\text{C}; q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}; h_1 = 8 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2\text{C}}; \\ h_2 &= 10 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2\text{C}}; T_{OC2} = 40^\circ\text{C}; r = 1\text{см}; F = \pi r^2 = \pi \text{см}^2; k_{xx} = 100 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2\text{C}}; \end{aligned}$$

Осы тік күштің пайда болатын өзекшенің ұзаруы шамасын, сондай-ақ термосерпімді, температуралық және серпінді деформация мен кернеудің құрамдастарын тарату заңдарын анықтау үшін Rhyton программасы құрылды. Өзірленген есептеуіш алгоритм және құрылған Rhyton программасы теңдеулердің рұқсат беретін жүйелерін қалыптастыруды және қажетті заңдылықтарды құруды автоматтандыруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ программа алынған сандық нәтижелердің графикалары түрінде құрастыруды автоматтандыруға мүмкіндік береді [4].

Шешім кезінде 13 бекітілген қимадағы температура мәндері анықталды. Олар келесі:

$$\begin{aligned} T(x = 5\text{см}) &= 776^\circ\text{C}; T(x = 7,5\text{см}) = 902^\circ\text{C}; \\ T(x = 10\text{см}) &= 1028^\circ\text{C}; T(x = 12,5\text{см}) = 1122,75^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

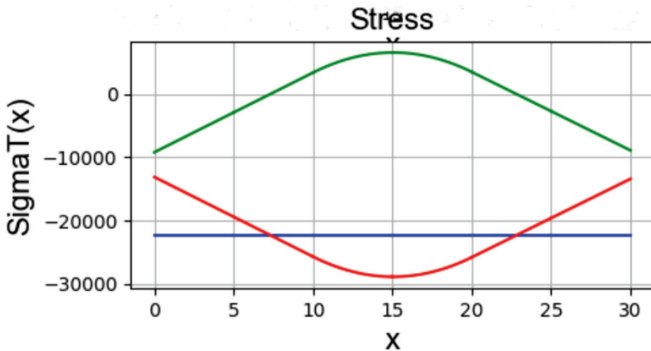
$$\begin{aligned}
 T(x = 15\text{см}) &= 1155^\circ\text{C}; T(x = 17,5\text{см}) = 1124,75^\circ\text{C}; \\
 T(x = 20\text{см}) &= 1032^\circ\text{C}; T(x = 22,5\text{см}) = 908^\circ\text{C}; \\
 T(x = 25\text{см}) &= 784^\circ\text{C}; T(x = 27,5\text{см}) = 660^\circ\text{C}; \\
 T(x = 30\text{см}) &= 536^\circ\text{C};
 \end{aligned}$$

Мұнда көлденең қиманың қоршаған ауданының температурасы  $T_{OC1} = 20^\circ\text{C}$  өзекшенің шеті көп, ал оң жақ шеті  $T_{OC2} = 40^\circ\text{C}$ . екенін атап өткен жөн. Сондықтан  $T(x = 0) < T(x = 30\text{см})$ , т.е.  $524^\circ\text{C} < 536^\circ\text{C}$ .

Қабылданған бастапқы деректер және алынған температура өрісі кезінде өзектің термиялық ұзаруының шамасы  $\Delta l_T = 0,0334\text{см}$  болады. Бұл зерттелетін өзектің бір ұшы қатты қорғалған болса, ал екіншісі бос болса пайда болады. Егер қаралып отырған өзектің екі ұшы да қатты-қорғалған болса, онда ол ұзартылмайды және қысқартылмайды. Бірақ жылу кеңею құбылысына байланысты осьтік күш пайда болады. Біздің жағдайда пайда болатын осьтік күштің шамасы мынандай болады:

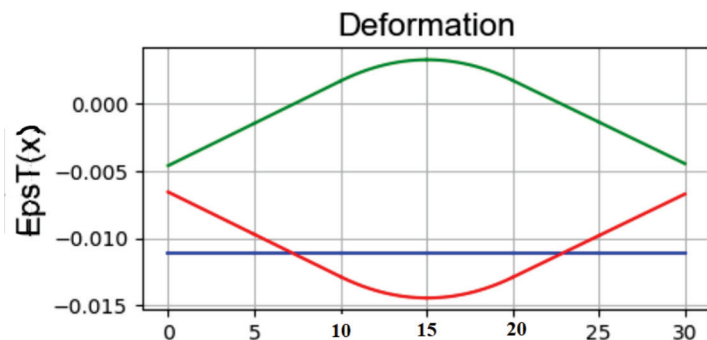
$$R = -69987,76 \text{ кг.}$$

Минус белгісі осьтік күштің қысқыш сипаты бар дегенді білдіреді.



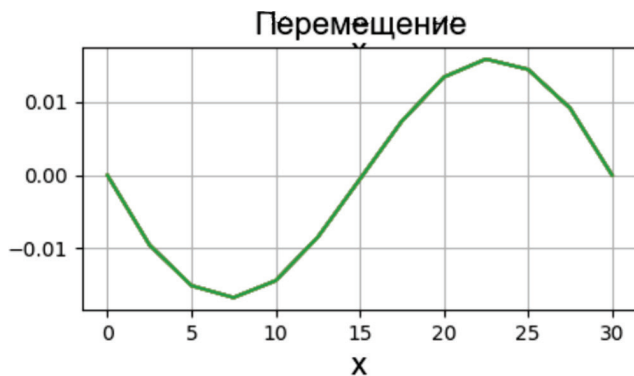
2-сурет – Кернеу құрауыштарын үлестіру Заңы.

Көк сызық-кернеудің термо-серпімді құраушысы; қызыл сызық-кернеудің температуралық құраушысы; жасыл сызық – кернеудің серпімді құраушысы.



3-сурет – Деформацияны құраушы өрістің таралу заңы.

Көк сызық-термо-серпімді деформация; қызыл сызық-температуралық деформация; жасыл сызық-серпімді деформация.



4-сурет – Өзек қималарының таралу заңы.

2-суретте үш құраушы кернеулердің таралу заңы келтіріледі. Бұл суретте термо-серпімді және температуралық құраушы кернеудің барлық ұзындығы бойынша қысу сипаты бар. Сол кезде ( $0 \leq x \leq 7,5$  см) және ( $22,5 \leq x \leq L \leq 30$  см) бөліктеріндегі кернеудің серпімді құраушысы қысу сипатында болады. Бірақ ол өзектің ( $7,5 \leq x \leq 22,5$ ) бөлігінде созылатын сипатқа ие. Осыған ұқсас құбылыстар деформацияның тиісті құрауыштарында да қайталанатын. Ол 3-суретте анық көрінеді. 4-суреттен ( $0 < \frac{L}{2} x \leq 15$  см)

өзектің қимасы  $OX$  осіне қарсы қозғалатынын, ал  $(\frac{L}{2} < x < L)$  бөлігінің қимасы керісінше  $OX$  осінің бағытына ауысатынын көруге болады. Ол кезде қималардың орын ауыстыруы координаттары  $x=0$ ,  $x = \frac{L}{2}$  және  $x=L$  нөлге тең болады.

**Қорытынды:** Ұсынылған энергетикалық әдіс жергілікті жылу ағындарының, жергілікті жылу оқшаулағыштардың болуын ескере отырып, жылу алмасудың әсері кезінде шектеулі ұзындығы мен тұрақты көлденең қима өзекшелерінің термо-кернеулі күйін зерттеуді автоматтандыруға мүмкіндік береді. Бұл ретте алынған нәтижелер энергияны сақтаудың іргелі заңдарын қанағаттандырады. Осының салдарынан олар жоғары дәлдікпен ерекшеленеді.

### Әдебиеттер

1 Кудайкулов А., Кенжегулов Б., Мырзашева А., Кенжегулова С. Численный метод определения удлинения стержня из жаропрочного сплава при наличии теплообмена, частичной теплоизоляции, локальной постоянной температуры. – Вестник КазАТК, 2009.

2 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Ташенова Ж.М. [и др.] моделирование установившегося нелинейно термо-напряженно-деформированного состояния теплоизолированного стержня ограниченной длины при воздействии теплового потока и теплообмена // Физико-математические науки и информационные технологии: проблемы и тенденции развития: сб. ст. по матер. II междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2012.

3 Кудайкулов А., Ногайбаева М. Определение термо-напряженного состояния стержня переменного сечения. – International scientific review, 2016

4 Kudaykulov A., Arshidinova M., Tashev A. Numerical Modeling of Nonlinear Thermomechanical Processes in a Rod of Variable Cross Section in the Presence of Heat Flow. – 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), 2018.

### References

1 Kudajkulov A., Kenzhegulov B., Myrzasheva A., Kenzhegulova S. Chislennyj metod opredeleniya udlineniya stержnya iz zharoprochnogo splava pri nalichii teploobmena, chastichnoj teploizolyacii, lokal`noj postoyannoј temperatury`. – Vestnik KazATK, 2009.

2 Zhumadillaeva A.K., Kudajkulov A.K., Tashenova Zh.M. [i dr.]

modelirovanie ustanovivshegosya nelinejno termo-napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya teploizolirovannogo sterzhnaya ogranichennoj dliny` pri vozdeystvii teplovogo potoka i teploobmena // Fiziko-matematicheskie nauki i informacziorny`e tekhnologii: problemy` i tendenczii razvitiya: sb. st. po mater. II mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Novosibirsk: SibAK, 2012.

3 *Kudajkulov A., Nogajbaeva M.* Opredelenie termo-napryazhennogo sostoyaniya sterzhnaya peremennogo secheniya. – International scientific review, 2016

4 *Kudaykulov A., Arshidinova M., Tashev A.* Numerical Modeling of Nonlinear Thermomechanical Processes in a Rod of Variable Cross Section in the Presence of Heat Flow. – 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), 2018.

#### **Сведения об авторах**

**Избасарова А.Ж.**, IT-технологиялар, автоматтандыру және механизациялау факультет

e-mail: asiya0496@gmail.com

**Кудайкулов А.К.**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор

e-mail: kudaykulov2006@mail.ru

**Ташев А.А.**, техника ғылымдарының докторы , профессор

e-mail: azattash@mail.ru

Юров В.М.<sup>1</sup>, Жангозин К.Н.<sup>1</sup>, Жанабергенов Т.К.<sup>1</sup>, Каргин Д.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«Восток», г. Астана, Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева,  
г. Астана, Казахстан

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ГРАФИТЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ НЕГО ГРАФЕНА

**Аннотация.** В статье предложен обзор наших последних теоретических работ по графиту и графену. Предложена модель определения толщины поверхностного слоя графита, откуда можно вычислить прочность графита и графена, определить длину нанотрещин в поверхностном слое этих материалов. Предложена модель механизма расщепления графита и получения графена. Показано, что можно расщепить графит, используя для нагрева импульсный пикосекундный лазер. Предложена модель механизма расщепления графита водными растворами. В основу модели положена оригинальная инновационная методика применения для получения порошкового графена микрокластерной воды в сочетании с ультразвуком и электрическим полем. Предложена модель оценки барьера Пайерлса – Набарро, приводящего к торможению дислокаций в поверхностном слое графена. Показано, что барьер Пайерлса – Набарро в графене максимален для моновакансии.

**Ключевые слова:** графит, графен, поверхность, модель, дефект, механизм.

• • •

**Түйіндеме.** Мақалада графит пен графен туралы соңғы теориялық жұмысымызға шолу ұсынылады. Графиттің беткі қабатының қалыңдығын анықтауға арналған модель ұсынылған, оның негізінде графит пен графеннің беріктігін есептеуге және осы материалдардың беткі қабатындағы наножарықшалардың ұзындығын анықтауға болады. Графитті бөлу және графен алу механизмінің моделі ұсынылған. Қыздыру үшін импульстік пикосекундтық лазердің көмегімен графитті бөлуге болатыны көрсетілді. Графиттің сулы ерітінділермен бөліну механизмінің моделі берілген. Модель микрокластерлік суды ультрадыбыстық және графен ұнтағын алу үшін электр өрісімен үйлестіре пайдаланудың түпнұсқа инновациялық техникасына негізделген. Графеннің беткі қабатындағы дислокацияны тежеуге әкелетін Пейерлс-Набарро тосқауылын бағалау үшін модель ұсынылған. Графендегі Пейерлс-Набарро тосқауылының моновакансия үшін максималды болатыны көрсетілген.

**Түйінді сөздер:** графит, графен, бет, модель, ақау, механизм.

• • •

**Abstract.** The article offers an overview of our latest theoretical work on graphite and graphene. A model is proposed for determining the thickness of the surface layer of graphite, from which the strength of graphite and graphene can be calculated and the length of nanocracks in the surface layer of these materials can be determined. A model of the mechanism of graphite splitting and graphene production is proposed. It was shown that it is possible to split graphite using a pulsed picosecond laser for heating. A model of the mechanism of graphite splitting by aqueous solutions is proposed. The model is based on an original innovative technique for using microcluster water in combination with ultrasound and an electric field to obtain powder graphene. A model is proposed for assessing the Peierls–Nabarro barrier, which leads to inhibition of dislocations in the surface layer of graphene. It is shown that the Peierls–Nabarro barrier in graphene is maximum for a monovacancy.

**Key words:** graphite, graphene, surface, model, defect, mechanism.

**Введение.** Графен, созданный 20 лет тому назад [1], представляет уникальный материал, которому суждено стать веществом XXI в. [2, 3]. Области применения графена самые разнообразные (рисунок 1). Мировой рынок графена начал увеличиваться лишь пять лет тому назад, что было связано с высокой стоимостью графена (рисунок 2). В Казахстане лишь недавно графеносодержащие наноматериалы были получены методом электродугового разряда на основе кокса из угля месторождения «Шубарколь» при температуре 1173 К в



среде азота. Несколько слоистых хлопьев графена синтезированы с использованием дугового разряда при постоянном напряжении 75 В и силе тока 150, 300 А в кварцевом реакторе [4]. Нами также в этом году предложены новые способы получения графена [5–8]. Однако, промышленного применения графена в Казахстане пока-что нет.

Рисунок 1 – Области применения графена [2, 3].

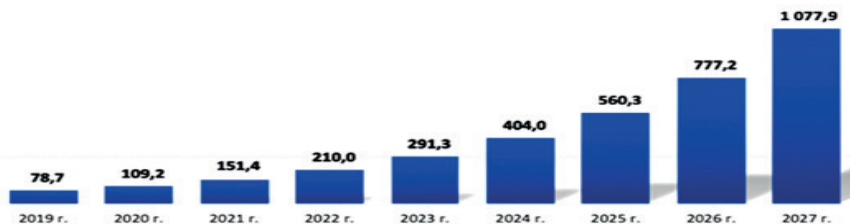


Рисунок 2 – Динамика мирового рынка графена в млн. долл. США (Источник: Grand View Research)

**Цель работы** – сделать краткий обзор наших последних теоретических работ по графиту и графену; сделать соответствующие выводы и предложить научным группам Казахстана включиться в работу с графеном – самым удивительным материалом, применяемым в различных областях человеческой деятельности.

**Толщина поверхностного слоя, дефекты и прочность графита [9].** Графит является термодинамически стабильной аллотропной модификацией углерода - элемента 4-ой группы главной подгруппы 2-го периода периодической системы, порядковый номер 6, атомная масса природной смеси изотопов 12,0107 г/моль. Теоретическая плотность, равная 2,26 г/см<sup>3</sup>, достигается лишь в природном графите. Плотность же искусственного графита находится в пределах 1,65-1,75 г/см<sup>3</sup>. Столь низкая плотность искусственного графита объясняется его пористостью [10]. Графит не плавится, но сублимируется при температуре около 3650 °С.

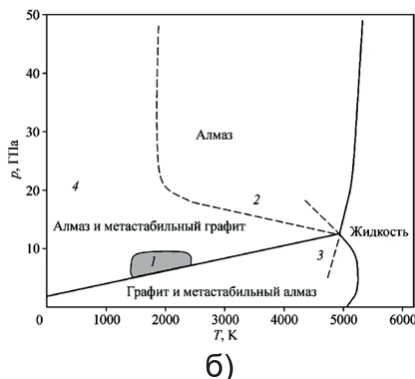
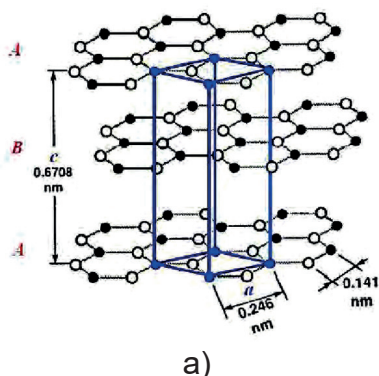


Рисунок 3 – Структура α-графита (а) [10] и фазовая диаграмма углерода (б) [11].



Кристаллическая структура графита имеет гексагональную симметрию и состоит из плоских слоев атомов углерода, расположенных параллельно друг другу (рисунок 3а). Фазовая диаграмма углерода по Банди [11] показана на рисунке 3б.

У  $\alpha$ -графита половина атомов каждого слоя располагается над и под центрами шестиугольника (укладка ...АВАВАВА...) (рисунок 3а). Каждый атом углерода ковалентно связан с тремя другими окружающими его атомами углерода. Так как связи, действующие в базисных плоскостях (энергия связи равна 420...460 кДж/моль), и связи между этими базисными плоскостями (энергия связи равна 42 кДж/моль) сильно различаются, в монокристаллическом графите существует сильная анизотропия свойств, а это определяет особенности свойств и структуры поликристаллических графитов.

Толщина поверхностного слоя  $R(l)$  и длина нанотрещин  $L_{nm}$  дается эмпирической формулой:

$$R(l) = L_{nm} = 0,17 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \cdot \nu [m]. \quad (1)$$

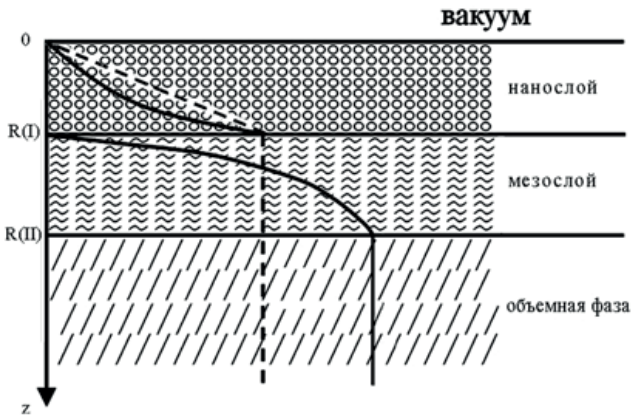
В уравнении (1) нужно знать один параметр – молярный объем элемента, который равен  $\nu = M/\rho$  ( $M$  – молярная масса,  $\rho$  – ее плотность),  $\alpha = 1 \text{ м}^{-2}$  – постоянная, чтобы соблюдалась размерность ( $R(l) = [m]$ ).

Схема поверхностного слоя показана на рисунке 4а, а на рисунке 4б показана таблица Д.И. Менделеева с периодической зависимостью объема  $\nu$  от  $Z$ .

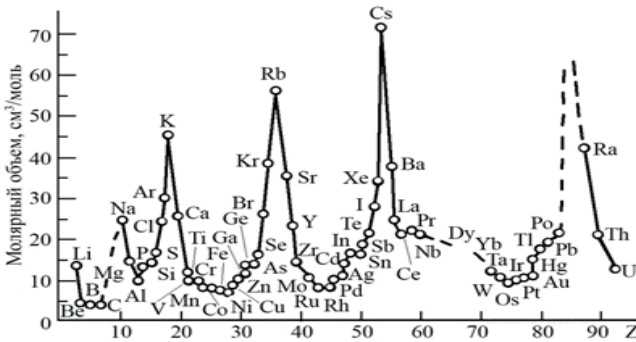
По формуле (1) рассчитаем  $R(l) = L_{nm}$  (таблица 1) для графита параллельно плоскости  $x = a = b$  и перпендикулярно этой плоскости  $x = c$ .

Таблица 1. Параметры  $R(l) = L_{nm}$  графита

| Графит | Структура                           | M, г/моль | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | $R(l)_a = L_{nma}$ , нм | $R(l)_c = L_{nmc}$ , нм |
|--------|-------------------------------------|-----------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| C      | C6/mmc-D <sub>6h</sub> <sup>4</sup> | 12,0107   | 2,26                       | 0.90 (3)                | 2.46 (3)                |
|        |                                     |           | 1,75                       | 1.17 (4)                | 3.19 (4)                |
|        |                                     |           | 1,65                       | 1.24 (5)                | 3.39 (5)                |



а)



б)

Рисунок 4 – Схематическое изображение поверхностного слоя (а), периодическое изменение атомного объема элементов (б)

Из таблицы 1 видно, что толщина слоя  $R(I)_a$  (и длина нанотрещин  $L_{nma}$ ) изменяется от 0.9 до 1.24 нм в верхней плоскости (рис. 1а), а толщина слоя  $R(I)_c$  (и длина нанотрещин  $L_{nmc}$ ) изменяется от 2.46 до 3.39 нм перпендикулярно этой плоскости (рисунок 3а). В таблице 1 число в скобках представляет собой число монослоев (графена) –  $n = R(I)/a$  ( $a$  – постоянная кристаллической решетки металла). Видно, что число монослоев графена у графита составляет 3-5.

В поверхностном слое  $R(I)$  происходит реконструкция атомных монослоев (рисунок 5).

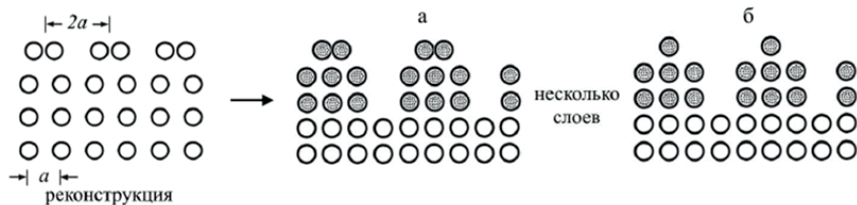


Рисунок 5 – Преобразование поверхности графита

Размерные эффекты в слое  $R(l)$  определяются всем коллективом атомов в системе (коллективные процессы). Такие «квазиклассические» размерные эффекты наблюдаются только в наночастицах и наноструктурах. Значит, слой  $R(l)$  представляет нанослой (рисунок 4а).

Поверхностная энергия объемного металла  $\gamma_2$  с точностью до 3% равна:

$$\gamma_2 = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m [\text{Дж/м}^2], \quad (2)$$

где  $T_m$  - температура плавления элемента (К).

В слое  $R(l)$  нужно учесть размерный эффект и поверхностная энергия становится равной  $\gamma_1$ :

$$\gamma_1 = \gamma_2 (1 - R(l) / R(l) + h) \approx 0,3\gamma_2, \quad (3)$$

Уравнение (3) показывает, что поверхностная энергия слоя  $R(l)$  в три раза меньше поверхностной энергии основного кристалла. Чтобы разделить слой  $R(l)$  от остального кристалла, нужно затратить энергию, которая называется энергией адгезии:

$$W_a = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \approx \gamma_1 + \gamma_2 = 1,3\gamma_2, \quad (4)$$

где  $\gamma_{12}$  – поверхностная энергия на границе раздела фаз, которая пренебрежимо мала, в силу фазового перехода II рода.

Внутренние напряжения  $\sigma_{is}$  между фазами  $y_1$  и  $y_2$  можно просчитать по формуле:

$$\sigma_{is} = \sqrt{W_a \cdot E / R(l)}, \quad (5)$$

где  $E$  – модуль упругости Юнга.

Используя уравнения (1) – (5), вычислим упругие параметры для графита.

**Таблица 2. Упругие параметры графита**

| Графит              | $W_{aa}$ , Дж/<br>$M^2$ | $W_{ac}$ , Дж/<br>$M^2$ | $\sigma_{isa}$ ,<br>МПа | $\sigma_{isc}$ ,<br>МПа | $E_a$ , ГПа | $E_c$ , ГПа |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| C ( $\rho = 2,26$ ) | 3,613                   | 1,323                   | 5740                    | 1370                    | 7,59        | 3,48        |
| C ( $\rho = 1,75$ ) | 2,801                   | 1,026                   | 3750                    | 930                     | 5,88        | 2,70        |
| C ( $\rho = 1,65$ ) | 2,637                   | 0,966                   | 3440                    | 870                     | 5,55        | 2,55        |

У графита среднее значение  $T_m = 3970$  К и  $y_2 = 2,779$  Дж/ $m^2$  (в формуле 2). Графит с плотностью  $\rho = 1,75$  г/ $cm^3$  относится к пресованным образцам, а с плотностью  $\rho = 1,65$  г/ $cm^3$  относится к продавленным образцам. Из-за этого их механические свойства отличаются как в продольном (например, модуль Юнга  $E = E_a$ ), так и в поперечном направлениях ( $E = E_c$ ) (таблица 2). Модуль Юнга у графита в  $10 \div 100$  раз меньше, чем у большинства металлов. Однако величина внутренних напряжений в 2 раза меньше, чем у золота и серебра.

Показано, что рост нанотрещин в твердых телах происходит по закону:  $L_{nm} \rightarrow 10^2 L_{\mu m} \rightarrow 10^4 L_c$ . Вычислим длину трещин  $L_{nm}$ ,  $L_{\mu m}$ ,  $L_c$  для графита.

**Таблица 3. Длина трещин графита.**

| Графит | $L_{nma}$ , нм | $L_{nmc}$ , нм | $L_{\mu ma}$ , нм | $L_{\mu mc}$ , нм | $L_{ca}$ , нм | $L_{cc}$ , нм |
|--------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|
| C      | 0.90           | 2.46           | 90                | 246               | 9000          | 24600         |
|        | 1.17           | 3.19           | 117               | 319               | 11700         | 31900         |
|        | 1.24           | 3.39           | 124               | 339               | 12400         | 33900         |

Трещины  $L_{nm}$ ,  $L_{\mu m}$ ,  $L_c$  для графита обусловлены их дислокационным взаимодействием.

Для разрушения твердого тела были разработаны силовые, деформационные и энергетические критерии разрушения. Между ними имеется следующая связь [12]:

$$\frac{K_{1c}^2(1 - \mu^2)}{E} = 2\delta_{1c}\sigma_B = G_{1c} = J_{1c} = 2\gamma = W_a, \quad (6)$$

где  $K_{1c}$  - критический коэффициент интенсивности напряжений, силовой критерий разрушения;  $E$  - модуль упругости;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $\delta_{1c}$  - критическое раскрытие в вершине трещины, деформационный критерий разрушения;  $\sigma_B$  - предел прочности;  $G_{1c}$  - кри-

тическая интенсивность освобождающейся энергии, энергетический критерий разрушения;  $J_{1c}$  - критический джей-интеграл, энергетический критерий разрушения;  $\gamma$  – поверхностная энергия,  $W_a$  – энергия адгезии.

При этом:

$$K_{1c} = \sqrt{EJ_{1c}} \quad (7)$$

В случае пластины с трещиной  $L_c$ :

$$K_{1c} = \sigma_{is}\sqrt{L_c}, \delta_{1c} = K_{1c}^2/\sigma_{is} \cdot E \quad (8)$$

Сделаем оценку уравнениям (6) - (8) для графита (таблица 4).

**Таблица 4. Критерии разрушения графита**

| Графит | $K_{1Ca}$ ,<br>ГПа м <sup>1/2</sup> | $K_{1Cc}$ ,<br>ГПа м <sup>1/2</sup> | $\delta_{1Ca}$ , нм | $\delta_{1Cc}$ , нм | $\sigma_{Ba}$ , МПа | $\sigma_{Bc}$ , МПа |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| С      | 545300                              | 215090                              | 6,1                 | 9,7                 | 296                 | 68                  |
|        | 397500                              | 166470                              | 7,2                 | 11,0                | 194                 | 47                  |
|        | 381840                              | 160080                              | 7,6                 | 11,6                | 173                 | 42                  |

Из таблицы 4 ясно, что в поперечном направлении графит разрушить намного легче, чем в продольном. Предложенная формула  $L_c = 0.17 \cdot 10^{-5} \cdot M/\rho$ , позволяет теоретически определять критическую длину трещин и прочность не только графита, но и углерод-углеродных композиционных материалов, синтез которых важен для применения в атомной технике, авиации, металлургии, космической технике и других отраслях промышленности.

**О механизме расщепления графита [13].** Графен представляет собой двумерный однослойный лист sp<sup>2</sup>-гибридизованных атомов графита, расположенных в форме шестиугольников. Наличие прочных ковалентных  $\sigma$ -связей С-С в плоскости графенового листа в сочетании с  $\pi$ -электронами вне его определяет уникальные физико-химические свойства графена, такие как большая теоретическая удельная поверхность (~ 2600 м<sup>2</sup>/г), высокая подвижность носителей заряда (~ 200000 см<sup>2</sup>/В·с), высокий модуль Юнга (~ 1000 ГПа), тепловая проводимость (~ 5000 Вт/м К), оптическая прозрачность (~ 97.7%), механическая прочность, химическая стабильность и т. д. Чтобы получить графен из графита существует несколько методов:

1. Механическое расщепление [14].

2. Термическое расщепление [15].
3. Ультразвуковое расщепление [16].
4. Химическое расщепление [17].
5. Химическое осаждение из паровой фазы (CVD) [18].
6. Эпитаксиальный рост [19].
7. Электрохимическая интеркаляция [20].
8. Диссоциативное испарение [21].
9. Плазмозлектрохимическое расщепление [22].

В итоге: синтез графена и графеноподобных материалов основан на увеличении межплоскостного расстояния, ослаблении сил взаимодействия между графитовыми слоями с последующим расслаиванием графита.

Построим теоретическую модель графита, представив его в форме цилиндра конечных размеров. Компоненты термоупругих напряжений по радиусу  $r$  -  $\sigma_r$  и вдоль оси  $z$  -  $\sigma_z$  - слоя  $R(l)$ , будем оценивать с помощью уравнений:

$$\sigma_z = -2G \frac{\partial T}{\partial z}. \quad (9)$$

$$\sigma_r = -2G \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r}. \quad (10)$$

Здесь модуль сдвига  $G$  определяется выражением:

$$2G = \frac{E}{1+\mu}, \quad (11)$$

где  $E$  - модуль Юнга,  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

Для графита  $E = 8,8$  ГПа,  $\mu = 0,22$ , а значит  $2G = 7,21$  ГПа. Из уравнений (9) и (11) нам нужно определить градиенты температуры. Чтобы рассчитать напряжения в слое  $R(l)$ , когда идет процесс расщепления графита, то мы приходим к задаче с подвижной границей раздела фаз, которая носит название – проблема Стефана.

В этом случае нестационарное уравнение теплопроводности в подвижной цилиндрической системе координат, движущейся по закону  $\beta(t)$ , имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right], \quad (12)$$

где  $D$ - коэффициент температуропроводности.

Коэффициент теплового расширения графена имеет минимум при комнатной температуре и составляет величину  $-3.7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , которое по величине в три раза превышает коэффициент теплового расширения графита в плоскости при той же температуре ( $-1.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ).

Начальное и граничные условия выберем в общем виде:

$$\begin{aligned} T(r, z, t)|_{t=0} &= \varphi(r, z), \\ T(r, z, t)|_{r=R} &= \gamma(z, t), \\ T(r, z, t)|_{z=0} &= \gamma_1(r, t), \\ T(r, z, t)|_{z=\beta(t)} &= \gamma_2(r, t). \end{aligned}$$

Функции  $\beta(t)$ ,  $\varphi(r, z)$ ,  $\gamma(z, t)$ ,  $\gamma_1(r, t)$  и  $\gamma_2(r, t)$  будем считать непрерывными. Решение задачи ищем в виде:

$$T(r, z, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \bar{T}_k(z, t) I_0(\lambda_{0k} r), \quad (13)$$

где  $\lambda_{0k}$  - корни уравнения  $I_0(\lambda_{0k} R) = 0$   
и  $I_0(\lambda_{0k} R)$  - функция Бесселя нулевого порядка, удовлетворяющая уравнению:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[ r \frac{dI(\lambda_{0k} r)}{dr} \right] + I_0(\lambda_{0k} r) = 0, \quad (14)$$

$$\bar{T}_k(z, t) = \int_0^R T_k(r, z, t) I_0(\lambda_{0k} r) r dr. \quad (15)$$

Окончательное решение этой задачи выглядит так:

$$\begin{aligned} T(r, z, t) &= \sum_{k=0}^{\infty} J_0(\lambda_{0k} r) \left\{ e^{-\Delta^2 t} \left[ \frac{1}{2\sqrt{\Delta}\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4\Delta^2 t}} dt \right. \right. \\ &\times \left( \int_0^t \phi(r, \xi) I_0(\lambda_{0k} r) r dr \right) d\xi + \frac{R I_1(\lambda_{0k} R)}{2\sqrt{\pi}\Delta} \int_0^t d\tau \int_0^t \frac{\gamma(\xi, \tau)}{\sqrt{t-\tau}} e^{-\Delta^2 t} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4\Delta^2(t-\tau)}} d\xi + \\ &\left. \left. + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z}{[\Delta(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4\Delta(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[\Delta(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4\Delta(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau \right\}. \end{aligned} \quad (16)$$

В уравнении (16):  $\Delta = \lambda/C_p$ ,  $\rho$  - коэффициент температуропроводности,  $\lambda$  - теплопроводность,  $C_p$  - удельная теплоемкость,  $\rho$  - плотность. Для графита при  $T = 300$  К:  $\lambda = 195$  Вт/м К;  $C_p = 710$  Дж/кг К;  $\rho = 1910$  кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta = 1,44 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с.

Если время  $t$  очень большое, то в результате мы получим:

$$T(r, z, t) = \frac{\Delta^{3/2} \cdot T_0}{\pi^2} J_0\left(\frac{2r}{R}\right) \cdot \frac{t}{z\beta(t)}, \quad (17)$$

Воспользуемся асимптотическим представлением функций Бесселя, тогда компоненты термоупругих напряжений по радиусу  $r$  -  $\sigma_r$  будут иметь вид:

$$\sigma_r = \frac{4D^{3/2} \cdot T \cdot G \cdot \sqrt{r \cdot R}}{\pi^2 \cdot r} \cdot \frac{t}{z\beta(t)}. \quad (18)$$

Примем  $r = R$ ,  $z = \beta(t)$ , тогда получим:

$$\sigma_r = \frac{4D^{3/2} \cdot T \cdot G \cdot t}{\pi^2 \cdot \beta(t)^2} = \frac{80D^{3/2} \cdot G}{\pi^2} \approx 8D^{3/2} \cdot G. \quad (19)$$

Компоненты термоупругих напряжений для графита  $\sigma_r = 0,24$  МПа, которые образуются на межфазной границе, разделяющей слой R(l) от остального объема и намного меньше  $\sigma_{bc} = 68$  МПа из таблицы 4. Это значит, что термически расщепить графит простым нагреванием не удастся. Согласно основам термоупругости термоупругие напряжения на границе раздела фаз можно определить по формуле:  $\sigma_r = \alpha E_c \Delta T$ ,  $\alpha = \text{const}$ . Константа  $\alpha$  нигде не определялась, поэтому мы определим ее используя данные из табл. 2 и приведенное выше значение  $\sigma_r$ . В результате получим:

$$\sigma_r = 10^{-2} \beta^2 \cdot E_c \cdot \Delta T, \quad (20)$$

где  $\beta$  – коэффициент линейного расширения.

Уравнение (20) показывает, что можно расщепить графит, используя для нагрева импульсный пикосекундный лазер ( $\beta^2 \sim 10^{-12}$ ) типа Nd-YAG. Этот подход реализуется сравнительно недавно [23]. Полученные результаты показывают, что механически значительно проще получить графен, нежели меняя градиент температуры.

**О механизме расщепления графита водными растворами [24, 25].** В работе [24] нами предлагается модель вязкости жидкостей, в которой рассматривается жидкость, как система взаимодействующих молекул, погруженная в термостат, представляющая собой весь объем жидкости. Квантовые переходы, обусловленные взаимодействием молекул с термостатом, будут диссипативными (с вероятностью P) в отличие от взаимодействия с внешним (например, электрическим) полем (с вероятностью F). Диссипативные процессы приводят к тому, что вторичное поле  $Z_2$  всегда меньше первичного  $Z_1$ . Поскольку подсистема молекул обменивается с термостатом только энергией, то соответствующий им ансамбль частиц будет каноническим. Теоретически рассчитана функция отклика и построена модель, которая в работе [25] использована для определения механизма расщепления графита водными растворами. В работе [8] получены экспериментальные результаты, свидетельствующие об интеркаляции графита микрокластерной водой (МКВ) в электрическом



полях (рисунок 6) с образованием графеновых наноструктур.

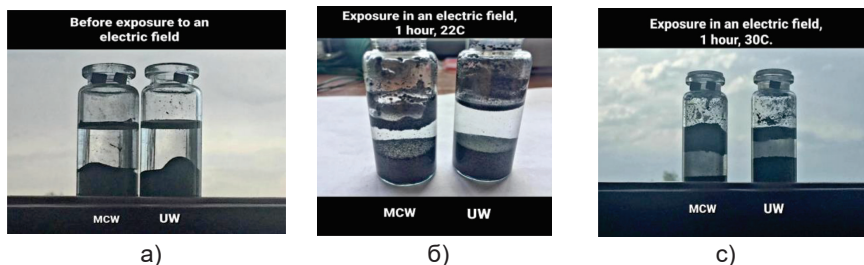


Рисунок 6 – Сосуды с графитом до воздействия электрического поля. Слева находится МКВ, справа- дистиллированная (а); Сосуды с графитом после воздействия поля 500 В, 50 Гц, 80 минут при 22 °С (б); Слева сосуд с графитом в МКВ, справа в дистиллированной воде после электрического поля при 30 °С (с) [8].

Поскольку в дистиллированной воде никаких изменений не наблюдалось, в работе [8] делается вывод, что происходит интеркаляция «микрочластеров» в межслойное пространство графита, вызывая его расширение от 3,44 Å до 6 Å и при длительном воздействии увеличивая это расширение в некоторых местах. На рисунке 4б эти же сосуды после 80 минут экспозиции в переменном электрическом поле 500 В (частота 50 Гц). Температура комнаты 22 °С. Видно, что уровень МКВ уменьшился (сосуд слева), причем объем уменьшения, сопоставим с объемом графита, что говорит о том, что произошло внедрение МКВ в значительную часть межслойного пространства графита. Визуально наблюдается, что частицы графита разбухли, что также подтверждает факт эффективного внедрения воды в межслойное пространство. Повторный эксперимент, проведенный при температуре 30 °С, привел к тому, что графит расслоился, с образованием обильной черной пены, которая всплыла над водой (рисунок 4с). Поскольку плотность графена с толщиной пластин до 4 нм составляет 40 г/литр, с толщиной до 10 нм составляет 260 г/л, то можно предположить, что пена состоит из графена. Таким образом, незначительное увеличение температуры привело к тому, что разбухший графит начал расслаиваться с выносом слоев на поверхность воды (смотри, формулы (19) и (20)).

В двух Патентах (Lorenzen L.H.) более 20 лет тому назад описан процесс получения микрочластерной воды (МКФ) [26, 27]. МКФ, полученную таким способом, мы использовали в своих экспериментах. Во многих работах [28, 33]. утверждается, что во всем диапазоне температур от 0 до 100 °С вода имеет кластерную структуру. Оценки

показывают, что основная доля молекул воды (до 99%) находится внутри кластеров. Кластеры представляют собой твердые конструкции. Энергия связи молекулы воды с кластером в ~ 3.5 раза превосходит теплоту плавления льда, отнесенную к одной молекуле. Время жизни молекулы в составе кластера существенно больше времени тепловых колебаний молекул в твердом теле.

При расщеплении графита водными растворами не учитывались трещины, которые образуются в любом твердом теле, полученного любым способом в природе или искусственным путем. Это обусловлено наличием поверхности у твердого тела и связанного с ней поверхностного слоя, толщина которого составляет 2-6 нм и отлична от свойств остального объема (смотри, выше).

Рассмотрим модель транспортного потока водного раствора через графит, помещенного в цилиндрический стакан в центробежном или ультразвуковом полях. Водный раствор плотностью  $\rho(r,z,t)$ , который движется по зависимости  $\beta(t)$  в цилиндре с соответствующей системой координат, может быть описан уравнением диффузии:

$$\frac{\partial \rho(r, z, t)}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 \rho(r, z, t)}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \rho(r, z, t)}{\partial r} \right) \right] \quad (21)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии раствора.

Условия на границе и начальное условие выберем в виде:

$$\begin{aligned} \rho(r, z, t) \Big|_{t=0} &= \varphi(r, z), \\ \rho(r, z, t) \Big|_{r=R} &= \gamma(z, t), \\ \rho(r, z, t) \Big|_{z=0} &= \gamma_1(r, t), \\ \rho(r, z, t) \Big|_{z=\beta(t)} &= \gamma_2(r, t), \end{aligned} \quad (22)$$

Задача (21)- (22) математически похожа на нашу задачу (12) (см., выше). Решая ее аналогичным образом, с учетом некоторых деталей окончательно получим:

$$\begin{aligned} \rho(r, z, t) = & J_0 \left( \frac{2r}{R} \right) e^{-a^2 t} \left\{ \frac{e^2 J_0 \left( \frac{2r}{R} \right)}{16a^3} \ln t + \frac{LJ_1 \left( \frac{2r}{R} \right)}{16a^3} e^{-a^2 t} \ln(t-1) + \right. \\ & \left. + \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{t}} \right) \left( \frac{a^2}{z\pi} + \frac{a^3}{\pi^2 z \beta(t)} \right) + \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{t}} \right) \frac{2a}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{[z - \beta(t)]} \right\}, \end{aligned} \quad (23)$$

Если время  $t$  очень большое, то в результате мы получим:

$$\rho(r, z, t) = \frac{D^{3/2}}{\pi^2} J_0 \left( \frac{2r}{R} \right) \cdot \frac{t}{z \beta(t)}, \quad (24)$$

Обозначим  $z = v t$ , где  $v$  – скорость движения потока,  $t$  – вре-

мая его движения. Движение раздела фаз примем автомодельным  $\beta(t) = \beta_0 t$ . Воспользуемся асимптотическим представлением функций Бесселя, тогда при  $r = R$  окончательно получим:

$$\rho(r, z, t) = \frac{D^{3/2}}{\pi^{5/2}} \cdot \frac{1}{v \cdot \beta_0 \cdot t}, \quad (25)$$

Выше обозначено  $v(z, t)$  скорость раствора в точке  $z$  в момент  $t$ . Полагая, что  $v(z, t)$  зависит только от плотности  $\rho$ , имеем, что когда трещина пуста ( $\rho = 0$ ), раствор движется с максимальной скоростью  $v = v_{\max}$ . При наполнении трещины скорость падает до полной остановки ( $v = 0$ ), когда  $\rho = \rho_{\max}$ . Математически это будет выглядеть так:

$$\rho = \rho_{\max} \left( 1 - \frac{v}{v_{\max}} \right), \quad 0 \leq v \leq v_{\max}. \quad (26)$$

Из формулы (26) видна существенная зависимость плотности потока раствора от коэффициента диффузии, т.е. от ее реологии, который равен, согласно классической теории Ньютона,  $D = v$ , где  $v$  – кинематический коэффициент вязкости.

В качестве функции отклика в [24] возьмем кинематическую вязкость  $v$ , тогда будем иметь:

$$v = \frac{kT}{c} \cdot \frac{W}{G^0} \cdot N, \quad (27)$$

где  $NkT = PV = (V = 1) = P$  – давление в потоке раствора;  $W$  – кинетическая энергия частиц (молекул) раствора  $W = m V^2/2$ ;  $G^0$  – энергия смеси (раствора);  $c = \text{const}$ ,  $m$  – масса частиц,  $V$  – их скорость. Уравнение (27) примет вид:

$$v = \frac{1}{c} \cdot \frac{P}{2G_{cm}^0} \cdot mV^2. \quad (28)$$

Учитывая, что  $G^0 = \gamma S$ ,  $S$  – площадь, получаем следующее уравнение связи вязкости раствора с ее поверхностным натяжением  $\gamma$ :

$$v = \frac{J}{\gamma}, \quad (29)$$

где  $J$  – постоянная жидкости при данных термодинамических условиях.

Уравнение (29) справедливо и для графита, по которому поток раствора пропорционален поверхностной энергии графита  $\gamma = W_a/2$ , где  $W_a$  – адгезия графита (табл. 2).

Перепишем формулу (25), учитывая формулу (1), в виде:

$$W_p = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{L_c}{M \cdot v \cdot t} \cdot \frac{L_c}{M \cdot v \cdot t}} \quad (30)$$

Здесь для водных растворов  $J = 2 \cdot 10^{-8}$ ,  $\beta_0 = 0,2$ .

В формуле (30) все параметры в правой части определяются экспериментально и дают величину  $W_p$ . Если величина  $W_p > W_{ac} \approx 1 \text{ Дж/м}^2$  (таблица 2), то графит расщепляется.

Таким образом, нами получена модель расщепления графита водными растворами, используя при этом только экспериментальные данные. Подобный подход был использован и для расщепления мусковита  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ , который также как и графит имеет слоистую структуру и также широко применяется в промышленности и в быту [34].

**Дефекты в графене [35, 36].** Графен имеет два типа дефектов [2, 3]: (I) естественные дефекты, известные как внутренние дефекты в графене, такие как дефекты Стоуна – Уэллса, дефекты с одной вакансией, множественные дефекты, линейные дефекты и углеродные адатомы; и (II) физически введенные дефекты, известные как внешние дефекты в графене, которые представляют собой чужие адатомы и инородные примеси.

Моновакансия (SV) или дефект по Шотки представляет собой отсутствие атома или иона в узле кристаллической решетки. Моновакансия имеет структуру 5/9, где новая связь с длиной  $b_{cv}$  возникает между парой из трех атомов со висящими связями, образующие пятиугольник со смещением  $d_{cv}$  третьего атома из плоскости графена. Энергия образования моновакансий равна  $E_{cv} = 7,6-7,9 \text{ эВ}$  и длина вновь образовавшегося связь  $b_{cv} = 0,18 - 0,2 \text{ нм}$ , миграционный барьер составляет  $\Delta E_{cv} = 1,3 \text{ эВ}$  при  $100 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$  и перемещение вне плоскости  $d_{cv} = 0,018 \text{ нм}$ . Если взять средние значения  $E_{cv}$ ,  $\Delta E_{cv}$  и энергию пересчитать в джоули, то получим  $E_{cv} = 12,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 12,4 \cdot 10^{-19} \text{ Н/м}$ ,  $\Delta E_{cv} = 2,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,1 \cdot 10^{-19} \text{ Н/м}$ . Сила образования моновакансий равна  $F_{cv} = E_{cv}/b_{cv} = 12,4 \cdot 10^{-19} \text{ Н/м} / 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 6,5 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$ , Сила перемещения миграционного барьера равна  $\Delta F_{cv} = \Delta E_{cv}/d_{cv} = 2,1 \cdot 10^{-19} \text{ Н/м} / 0,18 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 11,7 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$ .

Двойная вакансия (DV) означает либо слияние двух одиночных вакансий (SV) или удаление двух соседних атомов углерода. DV можно реконструировать, в результате чего получится два пятиугольника и один восьмиугольник, обозначенный дефектом 5-8-5. Энергия образования DV равна  $E_{dv} = 7,5 \text{ эВ}$  и меньше чем у SV, длина вновь образовавшегося связь  $b_{dv} = 0,17 \text{ нм}$ . Значения барьера трансформация для перехода 5-8-5  $\rightarrow$  555-777 равны 5,17 - 5,27 эВ. Все три состояния дивакансии являются стабильными при комнатной температуре.

Дефект DV обусловлен оборванной связью, тогда как дефект 5–8–5 вызывает только локальные деформации. Являясь насыщенным восьмичленным кольцевым соединением, молекула циклооктана  $(C_8H_{16})$  также имеет неплоскую структуру, похожую на корону или лодку. Поскольку дефект 5–8–5 тоже имеет значительную локальную кривизну, система заменяется на дефект 555–777 или 5555–6–7777 для уменьшения местной кривизны. Три разных реконструированные состояния дивакансии в графене обычно наблюдаются в нём при электронном облучении.

Удаление более двух атомов углерода, известное как множественные дефекты или мультивакансии, могут привести к более крупному и сложному дефекту. В этом отношении можно было бы ожидать наблюдение более или менее случайный набор вакансий. Поэтому возможна локальная перестройка решетки вокруг мультивакансий и образование случайного набора шестигонных многоугольников. Два пятиугольники и один восьмиугольник появляются для реконструированной двойной вакансии, что приводит к отсутствию оборванных связей. Мультивакансии могут быть созданы современными физическими и химическими методами. Результаты исследований показывают, что мультивакансии, чем моновакансии, легче образуются при условии облучения электронами. Расчеты показывают, что энергия образования мультивакансий в графене и углеродных нанотрубках значительно ниже энергии образования моновакансии. Энергия образования дефекта 5555–6–7777 находится между 5–8–5 и 555–777 и составляет около 6 эВ с длиной связи равной 0,23 нм.

В работе [36] мы предлагаем модель, по которой можно сделать оценку барьера  $F(I)_{п-н}$  и напряжения  $\sigma(I)_{п-н}$  Пайерлса – Набарро:

$$\begin{aligned} F(I)_{п-н} &= \gamma \cdot R(I)/n = \gamma \cdot a, \\ \sigma(I)_{п-н} &= F(I)_{п-н}/S = \gamma/a = E \cdot \varepsilon(I), \end{aligned} \quad (31)$$

где  $n$  – число слоев в слое  $R(I)$ ;  $a$  – постоянная решетки;  $S$  – площадь барьера ( $a^2$ ),  $\sigma(I)_{п-н}$  – напряжения Пайерлса – Набарро;  $E$  – модуль Юнга;  $\varepsilon$  представляет относительное удлинение параметра решетки в направлении действия внешней силы  $F$ .

Предложенная модель согласуются с численными моделями, предложенными в работах [37–40]. В случае графена  $R(I) = a = 0,246$  нм,  $n = 1$ ,  $\gamma = 0,7$   $T_m = (T_m = 4510 \text{ K}) = 3,157 \text{ МДж/м}^2$ .

Используя уравнения (1) – (5) и (31) вычислим энергетические параметры графена и вакансий в графене (таблица 5).

**Таблица 5. Параметры графена и вакансий в графене**

| Параметр           | $F(l)_{\text{ПН}}, 10^{-9} \text{ Н}$ | $\sigma(l)_{\text{ПН}}, \text{ МПа}$ | $F_{\text{CV}}, 10^{-9} \text{ Н}$ | $\sigma(l)_{\text{CV}}, \text{ МПа}$ | $F_{\text{DV}}, 10^{-9} \text{ Н}$ | $\sigma(l)_{\text{DV}}, \text{ МПа}$ | $F_{\text{D}}, 10^{-9} \text{ Н}$ | $\sigma(l)_{\text{D}}, \text{ МПа}$ |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Графен             | 0,26                                  | 4268                                 | -                                  | -                                    | -                                  | -                                    | -                                 | -                                   |
| Моновакансия       | -                                     | -                                    | 0,65                               | 36111                                | -                                  | -                                    | -                                 | -                                   |
| Дивакансия         | -                                     | -                                    | -                                  | -                                    | 0,44                               | 25872                                | -                                 | -                                   |
| Дефект 5555–6–7777 | -                                     | -                                    | -                                  | -                                    | -                                  | -                                    | 0,26                              | 11304                               |

Из таблицы 5 следует, что напряжения Пайерлса – Набарро у чистого графена  $\sigma(l)_{\text{ПН}} = 4,3$  ГПа и затем уменьшается с возрастанием количества дефектов. Такое значение напряжения Пайерлса – Набарро приводит к короблению листов чистого графена. В графене создаваемая перечисленными выше дефектами деформация  $\sigma(l)$  квазидвумерной решетки может индуцировать сильные псевдомагнитные поля, способствовать появлению новых уровней Ландау, парамагнитных центров и оказывать существенное влияние на электронные характеристики. Из табл. 5 следует, что барьер Пайерлса – Набарро для чистого графена  $F(l)_{\text{ПН}} = 0,26 \cdot 10^{-9}$  Н, а для типичной стали  $F(l)_{\text{ПН}} = 0,5 \cdot 10^{-9}$  Н. Моновакансия обладает большим барьером Пайерлса – Набарро, хотя и образуются непросто. Барьер Пайерлса – Набарро является тормозом движения дислокаций в металлах и приводит к его упрочнению. Дефекты в графене, которые могут быть тормозом движения дислокаций, легче образуются при условии облучения электронами. Перемещение моновакансий вне плоскости графена равно (смотри выше)  $d_{\text{CV}} = 0,018$  нм и, следовательно,  $d_{\text{DV}} = 0,027$  нм и  $d_{\text{D}} = 0,046$  нм (таблица 5). Во многих работах установлено, что источником дислокаций в графене являются так называемые дефекты Стоуна-Уэльса, которые образуются в результате поворота связи С–С на угол  $90^\circ$ , в результате чего в гексагональной решетке возникают два пятиугольника и два семиугольника. Передвигаются дислокации путем скольжения или переползания со скоростью  $\sim 0.1$  нм/мин. Каждая дислокация создает в своей окрестности поле деформаций, которое распространяется на  $\sim 1$  нм.

На сегодняшний день существуют несколько механизмов торможения дислокаций, которые можно разделить на две группы.

Первая группа обсуждает торможение дислокаций за счет наличия в кристаллах потенциальных барьеров, обусловленных различными структурными дефектами, включая барьер Пайерлса – Набарро. Вторая группа обсуждает торможение дислокаций за счет наличия в кристаллах динамического взаимодействия. К нему относятся взаимодействие с электронами, с фононами, с экситонами, магнонами и прочими элементарными возбуждениями кристаллической решетки. Роль последних возбуждений для большинства кристаллов незначительна, но наиболее значительно взаимодействие с фононами. Как показано нами барьер Пайерлса – Набарро в графене максимален для моновакансии.

**Выводы.** Исследованию графена за 20 лет посвящено огромное количество статей, диссертаций и монографий, число которых будет возрастать по мере использования графена в различных областях человеческой деятельности. Графен относится к наноматериалам, исследование которых начато лишь в конце XX века и продолжается до сих пор.

Описанный нами метод получения графена жидкофазной эксфолиацией графита является принципиально новым и отличается от ранее используемых простотой, дешевизной и абсолютной экологичностью. Однако, жидкости не имеющих упорядоченной структуры, характеризуются неприятным для построения их теории свойством - средняя кинетическая энергия  $E$ , приходящаяся на одну молекулу, по порядку величины равна потенциальной энергии  $U$ . Из-за отсутствия малого параметра, по которому было бы удобно проводить разложение, не существует строгой теории применительно к жидкостям, такой, как, например, к твердому телу ( $E/U \ll 1$ ) или газу ( $E/U \gg 1$ ).

В XX и XXI столетии на смену строгим результатам пришли компьютерные модели. Анализ предложенных в статье моделей возможен только с помощью вычислительной техники методами искусственного интеллекта (ИИ). Для предложенных моделей создаем ИИ (совместно с представителями других ВУЗов) на основе анализа контрольных параметров рабочего раствора как по визуальным параметрам, так и сравнением характеристик спектров комбинационного рассеяния света. Если он подтверждает качество графена - процесс закончен, если нет, то процесс продолжается, или выбраковывается.

### Список литературы

- 1 *Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A.* Electric field effect in atomically thin carbon films // *Science*, 2004, V. 306, № 5696. - P. 666-669.
- 2 *Zhang T.* *Graphene. From Theory to Applications.* – Springer, 2022. – 142 p.
- 3 *Gupta R.K.* (Editor) *3D Graphene. Fundamentals, Synthesis and Emerging Applications.* - Springer, 2023. – 441 p.
- 4 *Ермагамбет Б.Т., Казанкапова М.К., Касенов Б.К., Айтмагамбетова А.Ж., Куанышбеков Е.Е.* Синтез графеносодержащих наноматериалов на основе кокса методом электродугового разряда // *Химия твердого топлива*, 2021, № 6. - С. 28-40.
- 5 *Жангозин К.Н., Жанабергенов Т.К., Каргин Д.Б.* О новом методе получения порошкового графена // *Вестник ЕНУ им. Л. Гумилёва*, 2021, том 136, №3. – С. 8-16.
- 6 *Жангозин К.Н., Кешуов С.А., Жанабергенов Т.К.* «Способ получения графена». Республика Казахстан, Патент 35840, 28 07 2021.
- 7 *Жангозин К.Н., Кешуов С.А., Жанабергенов Т.К.* «Получение графена». Республика Казахстан, Патент 6985, 28 07 2021.
- 8 *Жангозин К.Н.* Новый метод получения графена интеркаляцией графита микрокластерной водой. - Алматы: Darkhan, 2023. – 102 с.
- 9 *Yurov V., Zhangozin K.* Surface layer thickness, defects and strength of graphite // *The scientific heritage*, 2023, No 128. – P. 20-27.
- 10 *Жмуриков Е.И., Бубненко И.А., Дрёмов В.В., Самарин С.И., Покровский А.С., Харьков Д.В.* Графит в науке и ядерной технике. – Новосибирск, 2013. – 193 с.
- 11 *Bundy F.P., Bassett W.A., Weathers M.S., et al.* The Pressure-Temperature Phase and Transformation Diagram for Carbon; Updated Through 1994 // *Carbon*, 1996, V. 34, N 2. - P. 141-153.
- 12 *Ерасов В.С., Орешко Е.И.* Причины зависимости механических характеристик трещиностойкости материала от размеров образца // *Авиационные материалы и технологии*, 2018, №3(52). – С. 56-64.
- 13 *Yurov V., Zhangozin K.* About the mechanism of graphite splitting // *International independent scientific journal*, 2024, №58. – P. 29-40.
- 14 *Новоселов К.С.* Графен: материалы Флатландии // *Успехи физических наук*, 2011, Т. 181, № 12. - С. 1299-1311.



15 Van Noorden R. *Production: Beyond sticky tape* // Nature, 2012, V. 483, № 7389. - P. S32-S33.

16 Hernandez Y., Nicolosi V., Lotya M., Blighe F.M., Sun Z.Y., De S., McGovern I.T., Holland B., Byrne M., Gun'ko Y.K., Boland J.J., Niraj P., Duesberg G., Krishnamurthy S., Goodhue R., Hutchison J., Scardaci V., Ferrari A. C. High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite // Nature Nanotechnology, 2008, V. 3, № 9. - P. 563-568.

17 Wu Y.H., Yu T., Shen Z.X. Two-dimensional carbon nanostructures: Fundamental properties, synthesis, characterization, and potential applications // Journal of Applied Physics, 2010, V. 108, № 7, 071301.

18 Kim K.S., Zhao Y., Jang H., Lee S.Y., Kim J.M., Kim K.S., Ahn J.H., Kim P., Choi J.Y., Hong B. H. Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes // Nature, 2009, V. 457, № 7230. - P. 706-710.

19 Sutter P.W., Flege J.-I., Sutter E.A. Epitaxial graphene on ruthenium // Nature. mater., 2008, V. 7, N. 5. - P. 406-411.

20 Никифоров А.А., Кондратенко М.С., Капитанова О.О., Галлямов М.О. Электрохимическое расщепление графита в сверхкритических средах // ДАН РАН. Химия, науки о материалах, 2020, том 492-493. - С. 128-133.

21 Лебедев С.П. Получение графена методом диссоциативного испарения (сублимации) поверхности SiC и исследование свойств структур графен/SiC. – Диссертация кандидата физ.-мат. наук, Санкт-Петербург, 2021. – 164 с.

22 Кочергин В.К. Бесплатиновые катализаторы восстановления кислорода для топливных элементов на основе плазмозлектрохимически расщепленного графита. - Автореферат кандидата химических наук, Москва, 2022. - 26 с.

23 Кононенко Т.В. Лазерно-индуцированные графитизированные микроструктуры в объеме алмаза. - Диссертация доктора физико-математических наук, Москва, 2022. – 196 с.

24 Yurov V., Zhangozin K. Some questions of the theory of solution viscosity // German International Journal of Modern Science, 2023, №71. – P. 34-41.

25 Yurov V.M., Zhangozin K.N. At the mechanism of graphite splitting bouby aqueous solutions // Znanstvena misel journal, 2024, №86. – P. 41-49.

26 Lorenzen L.H. Process for preparing microclustered water. Patent Number: 5,711,95. Date of Patent: Jan. 27, 1998.

27 *Lorenzen L.H.* Microclustered water. Patent Number: 6,033,678. Date of Patent: Mar. 7, 2000.

28 *Nilsson A., Pettersson L.G.M.* Perspective on the structure of liquid water // *Chemical Physics*, 2011, V. 389. – P. 1-34.

29 *Игнатов И., Мосин О.В., Великов Б.* Математические модели, описывающие структуру воды // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №3. – С. 1-26.

30 *Chen M, Ko H.-Yu, Remsing R.C. and etc.* Ab initio theory and modeling of water // *PNAS*, 2017, Vol. 114, No. 41. – P. 1-12.

31 *Chaplin M.F.* Structure and Properties of Water in its Various States. *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society*, edited by Patricia A. Maurice, 2019. – P. 1-19.

32 *Захаров С.Д., Мосягина И.В.* Кластерная структура воды (обзор). Препринт Физический ин-т им. П.Н. Лебедева РАН. – Москва, 2011. – 24 с.

33 *Полянская А.В., Полянский А.М., Полянский В.А.* Связь явлений переноса с характеристиками кластерной структуры воды // *Журнал технической физики*, 2019, том 89, вып. 6. – С. 958-964.

34 *Yurov V., Zhangozin K.* About the mechanism of mica splitting // *Sciences of Europe*, 2024, № 133. – P. 97-104.

35 *Yurov V., Zhangozin K.* On the question of stone-wales defects in graphene // *International independent scientific journal*, 2024, №58. – P. 42-53.

36 *Yurov V., Zhangozin K.* Barrier Peierls - Nabarro and migration monovacancies and multivacancies in grapheme // *Norwegian Journal of development of the International Science*, 2024, No 124. – P. 91-95.

37 *Усатенко О.В., Горбач А.В., Ковалев А.С.* Энергия и барьер Пайерлса дислокации (кинка) Френкеля–Конторовой // *ФТТ*, 2001, том 43, вып. 7. - С. 1202-1206.

38 *Гринберг Б.А., Иванов М.А., Кругликов Н.А., Антонова О.В.* О возможности автоблокировки дислокаций в различных материалах // *ФММ*, 2009, том. 108, №1. - С. 93-104.

39 *Фан Т., Луо Л., Ма Л., Танг Б., Пенг Л., Динг В.* Исследование полных а-дислокаций в чистом магнии на основе первичных принципов // *ПМТ*, 2014, Т. 55, N4. - С. 141-151.

40 *Петухов Б.В.* Динамика дислокаций в твердых растворах ковалентных кристаллов // *ФТТ*, 2016, том 58, вып. 9. – С. 1764-1768.

## References

- 1 *Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva V., Firsov A.A.* Electric field effect in atomically thin carbon films // *Science*, 2004, V. 306, № 5696. - P. 666-669.
- 2 *Zhang T.* *Graphene. From Theory to Applications.* - Springer, 2022. - 142 p.
- 3 *Gupta R.K.* (Editor) *3D Graphene. Fundamentals, Synthesis and Emerging Applications.* - Springer, 2023. - 441 p.
- 4 *Ermagambet B.T., Kazankapova M.K., Kasenov B.K., Ajtmagambetova A.Zh., Kuany`shbekov E.E.* Sintez grafenosoderzhashhikh nanomaterialov na osnove koksa metodom e`lektrodugovogo razryada // *Khimiya tverdogo topliva*, 2021, № 6. - S. 28-40.
- 5 *Zhangozin K.N., Zhanabergenov T.K., Kargin D.B.* O novom metode polucheniya poroshkovogo grafena // *Vestnik ENU im. L. Gumilyova*, 2021, tom 136, № 3. - S. 8-16.
- 6 *Zhangozin K.N., Keshuov S.A., Zhanabergenov T.K.* «Sposob polucheniya grafena». Respublika Kazakhstan, Patent 35840, 28 07 2021.
- 7 *Zhangozin K.N., Keshuov S.A., Zhanabergenov T.K.* «Poluchenie grafena». Respublika Kazakhstan, Patent 6985, 28 07 2021.
- 8 *Zhangozin K.N.* Novy`j metod polucheniya grafena interkal'yacziej grafita mikroklasternoj vodoj. - Almaty` : Darkhan, 2023. - 102 s.
- 9 *Yurov V., Zhangozin K.* Surface layer thickness, defects and strength of graphite // *The scientific heritage*, 2023, № 128. - P. 20-27.
- 10 *Zhmurikov E.I., Bubnenkov I.A., Dryomov V.V., Samarin S.I., Pokrovskij A.S., Khar`kov D.V.* Grafit v nauke i yadernoj tekhnike. - Novosibirsk, 2013. - 193 s.
- 11 *Bundy F.P., Bassett W.A., Weathers M.S., et al.* The Pressure-Temperature Phase and Transformation Diagram for Carbon; Updated Through 1994 // *Carbon*, 1996, V. 34, N 2. - P. 141-153.
- 12 *Erasov V.S., Oreshko E.I.* Prichiny` zavisimosti mekhanicheskikh kharakteristik treshhinostojkosti materiala ot razmerov obrazca // *Aviacionny`e materialy` i tekhnologii*, 2018, №3(52). - S. 56-64.
- 13 *Yurov V., Zhangozin K.* About the mechanism of graphite splitting // *International independent scientific journal*, 2024, №58. - P. 29-40.
- 14 *Novoselov K. S.* *Grafen: materialy` Flatlandii* // *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2011, T. 181, № 12 - S. 1299-1311.
- 15 *Van Noorden R.* *Production: Beyond sticky tape* // *Nature*, 2012, V. 483, № 7389. - P. S32-S33.
- 16 *Hernandez Y., Nicolosi V., Lotya M., Blighe F.M., Sun Z.Y., De*

S., McGovern I.T., Holland B., Byrne M., Gun'ko Y.K., Boland J.J., Niraj P., Duesberg G., Krishnamurthy S., Goodhue R., Hutchison J., Scardaci V., Ferrari A. C. High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite // *Nature Nanotechnology*, 2008, V. 3, № 9. - P. 563-568.

17 Wu Y.H., Yu T., Shen Z.X. Two-dimensional carbon nanostructures: Fundamental properties, synthesis, characterization, and potential applications // *Journal of Applied Physics*, 2010, V. 108, № 7, 071301.

18 Kim K.S., Zhao Y., Jang H., Lee S.Y., Kim J.M., Kim K.S., Ahn J.H., Kim P., Choi J.Y., Hong B. H. Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes // *Nature*, 2009, V. 457, № 7230. - P. 706-710.

19 Sutter P.W., Flege J.-I., Sutter E.A. Epitaxial graphene on ruthenium // *Nature mater.*, 2008, V. 7, N. 5. - P. 406-411.

20 Nikiforov A.A., Kondratenko M.S., Kapitanova O.O., Gallyamov M.O. E`lektrokhimicheskoe rasshheplenie grafita v sverkhkriticheskikh sredakh // DAN RAN. Khimiya, nauki o materialakh, 2020, tom 492-493. - S. 128-133.

21 Lebedev S.P. Poluchenie grafena metodom dissocziativnogo ispareniya (sublimaczii) poverkhnosti SiC i issledovanie svojstv struktur grafen/SiC. - Dissertacziya kandidata fiz.-mat. nauk, Sankt-Peterburg, 2021. - 164 s.

22 Kochergin V.K. Besplatinovy`e katalizatory` vosstanovleniya kisloroda dlya toplivny`kh e`lementov na osnove plazmoe`lektrokhimicheskogo rasshheplennogo grafita. - Avtoreferat kandidata khimicheskikh nauk, Moskva, 2022. - 26 s.

23 Kononenko T.V. Lazerno-induczirovanny`e grafitizirovanny`e mikrostruktury` v ob`eme almaza. - Dissertacziya doktora fiziko-matematicheskikh nauk, Moskva, 2022. - 196 s.

24 Yurov V., Zhangozin K. Some questions of the theory of solution viscosity // *German International Journal of Modern Science*, 2023, №71. - P. 34-41.

25 Yurov V.M., Zhangozin K.N. At the mechanism of graphite splitting bouby aqueous solutions // *Znanstvena misel journal*, 2024, №86. - P. 41-49.

26 Lorenzen L.H. Process for preparing microclustered water. Patent Number: 5,711,95. Date of Patent: Jan. 27, 1998.

27 Lorenzen L.H. Microclustered water. Patent Number: 6,033,678. Date of Patent: Mar. 7, 2000.

28 Nilsson A., Pettersson L.G.M. Perspective on the structure of liquid water // *Chemical Physics*, 2011, V. 389. - P. 1-34.

29 *Ignatov I., Mosin O.V., Velikov B.* Matematicheskie modeli, opisy`vayushhie strukturu vody` // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013. №3. - С. 1-26.

30 *Chen M, Ko H.-Yu, Remsing R.C. and etc.* Ab initio theory and modeling of water // PNAS, 2017, Vol. 114, No. 41. - P. 1-12.

31 *Chaplin M.F.* Structure and Properties of Water in its Various States. Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society, edited by Patricia A. Maurice, 2019. - P. 1-19.

32 *Zakharov S.D., Mosyagina I.V.* Klasternaya struktura vody` (obzor). Preprint Fizicheskij in-t im. P.N. Lebedeva RAN. - Moskva, 2011. - 24 s.

33 *Polyanskaya A.V., Polyanskij A.M., Polyanskij V.A.* Svyaz` yavlenij perenosa s kharakteristikami klasternoj struktury` vody` // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki, 2019, tom 89, vy`p. 6. - S. 958-964.

34 *Yurov V., Zhangozin K.* About the mechanism of mica splitting // Sciences of Europe, 2024, № 133. - P. 97-104.

35 *Yurov V., Zhangozin K.* On the question of stone-weles defects in graphene // International independent scientific journal, 2024, №58. - P. 42-53.

36 *Yurov V., Zhangozin K.* Barrier Peierls - Nabarro and migration monovacancies and multivacancies in grapheme // Norwegian Journal of development of the International Science, 2024, No 124. - P. 91-95.

37 *Usatenko O.V., Gorbach A.V., Kovalev A.S.* E`nergiya i bar`er Pajerlsa dislokaczii (kinka) Frenkelya-Kontorovoj // FTT, 2001, tom 43, vy`p. 7. - S. 1202-1206.

38 *Grinberg B.A., Ivanov M.A., Kruglikov N.A., Antonova O.V.* O vozmozhnosti avtoblokirovki dislokaczij v razlichny`kh materialakh // FMM, 2009, tom. 108, №1. - S. 93-104.

39 *Fan T., Luo L., Ma L., Tang B., Peng L., Ding V.* Issledovanie polny`kh a-dislokaczij v chistom magnii na osnove pervichny`kh princzipov // PMT, 2014, T. 55, N4. - S. 141-151.

40 *Petukhov B.V.* Dinamika dislokaczij v tverdy`kh rastvorakh kovalentny`kh kristallov // FTT, 2016, tom 58, vy`p. 9. - S. 1764-1768.

### **Сведения об авторах**

**Юров Виктор Михайлович** - кандидат физико-математических наук, доцент  
e-mail: exciton@list.ru

**Жангозин Канат Накошевич** - кандидат физико-математических наук, доцент  
e-mail: 4kzh@mail.ru

**Жанабергенов Тимурхан Кудайбергенович** - доктор PhD  
e-mail: timur@parasat.com.kz

**Каргин Джумат Бейсенбекович** - кандидат физико-математических наук, доцент  
e-mail: kargin\_db@enu.kz.

*Майдуков Г.Л., Болбат В.Н., Григорюк М.Е.*

Научно-исследовательский государственный угольный институт, ГУ ДонУГИ,  
Россия

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ГОСУДАРСТВЕННОГО ФОНДА ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТ УГЛЕПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

---

---

**Аннотация:** Приведены результаты анализа технико-экономического состояния шахтного фонда действующих шахт, изложены варианты возможного реформирования отрасли в соответствии со структурой её экономики.

**Ключевые слова:** шахта; промышленные запасы; рентабельность; производительность труда; подвигание забоя.

• • •

**Түйіндеме:** Қолданыстағы шахталардың қорының техникалық-экономикалық жағдайын талдау нәтижелері ұсынылып, оның экономикасының құрылымына сәйкес саланы ықтимал реформалау нұсқалары көрсетілген.

**Түйінді сөздер:** шахта; өнеркәсіптік қорлар; табыстылық; еңбек өнімділігі; забойдың жылжуы.

• • •

**Abstract:** The results of the analysis of the technical and economic state of the mine fund of the existing mines of the Donetsk People's Republic are presented, options for possible reform of the industry in accordance with the structure of its economy are described.

**Key words:** mining; industrial resources; profitability; labor productivity; slave movement.

**Введение.** Шахты располагаются на части территории Старо-промышленного Донбасса, где разработка угольных месторождений продолжается 220 лет. За прошедшее время глубина ведения горных работ достигла 1,5 км. Во многих случаях на границах горных отводов шахт произошло слияние погашенных выработок, что привело к свободной миграции подземных вод и метана. Высокая плотность застройки территории, густая сеть транспортных и других коммуникаций и промышленных объектов по мере углубления горных работ

требуют оставления все большего количества и увеличения размера целиков для предотвращения оседания почвы под зданиями и сооружениями. В результате общешахтные и эксплуатационные потери угля в горных выработках достигают 50% промышленных запасов [1, 2]. По мере углубления шахт усложняется тектоническая обстановка, растет температура и метанообильность, протяженность горных выработок. Эти и многие другие условия требуют все больших затрат на поддержание и воспроизводство горных выработок, на обеспечение безопасности подземных рабочих и их жизнедеятельности. Поэтому и без того высокая себестоимость добычи угля, характерная для отработки тонких пластов, снижает конкурентность продукции, продвигаемой на энергетический рынок.

В сложившемся экономическом пространстве основным условием рентабельного производства является емкость рынка, сбалансированная с потребительским спросом и жесткой конкуренцией. Во избежание риска, вызванного колебанием цен на энергетические ресурсы, реализация угольной продукции на мировом рынке традиционно осуществляется по долгосрочным договорам, и только излишки угля реализуют по разовым (спотовым) поставкам (Роттердам, Антверпен, Амстердам в Европе, Ньюкасл в Австралии, Ричард-Бей в ЮАР). Это в какой-то мере позволяет избежать перепроизводства угольной продукции, что угрожает падением цен на нее. Кроме того, очередной мировой экономический кризис 2008 года не сменился, как предполагалось, последующей фазой ускоренного развития промышленного производства, а наоборот, усугубился из-за резкого роста добычи угля в Китае (до 4 млрд.т), в латиноамериканских странах и государствах тихоокеанского региона. В западноевропейских странах, хотя и прекращена добыча угля, освободившуюся емкость рынка заместил дешевый уголь из Австралии, ЮАР, Латинской Америки. Постепенно увеличиваются нетрадиционные источники возобновляемой энергии (солнце, ветер, биологические отходы и др.), производимые прежде всего Германией. Поэтому найти на мировом рынке свободную нишу для реализации угля кому-либо трудно.

Экономическая блокада Украины вынуждает шахты искать потребителей угля или партнеров по его конверсии в продукцию с высокой добавленной стоимостью прежде всего в России, где, к сожалению, в 2016 г. внутреннее потребление угля в РФ упало на 5% и импорт сократился на 10,6%, а к 2018 г. прогнозируется мировое сокращение среднегодового металлопотребления. Наряду с проблемой ёмкости рынка трудности в реализации донецких каменных углей обусловлены еще и высоким содержанием в них природной серы. Однако этим не ограничиваются проблемы угольной отрасли.

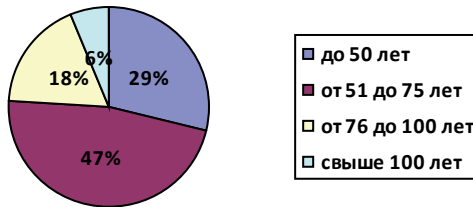
*Шахтный фонд* является потенциалом производственной мощ-

ности угледобывающего предприятия. От его состояния и интенсивности использования зависит финансовое состояние шахты. Шахтный фонд представляет сложный конгломерат неоднородных природных горно-геологических и технических характеристик конкретного производства и условно подразделяется на предмет труда (вскрытые промышленные запасы угля горного отвода шахты) и средства труда (здания, сооружения, машины, механизмы, средства транспорта, жизнеобеспечения и др.). В настоящей публикации ограничимся анализом двух наиболее характерных составляющих шахтного фонда – на запасах угля, на структуре и состоянии активной части основных фондов производства.

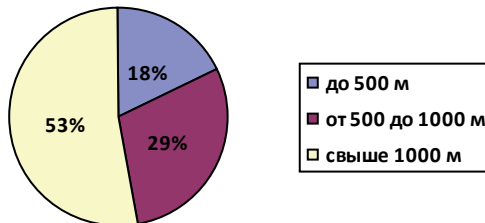
**Исследования.** Промышленные запасы по 17 действующих угледобывающих предприятий на 01.01.2019 г. составляют 847,9 млн. т, объем этих запасов крайне неоднородно распределен между шахтами и их размеры не соотносятся ни с проектной мощностью, ни со сроком эксплуатации горного отвода. Подготовленные к отработке запасы угля на государственных шахтах по состоянию на 01.01.2019 г. составляют 35,4 млн. т [3].

Всего на балансе Министерства угля и энергетики находится 17 шахт. Распределение государственных шахт по частоте срока эксплуатации, глубине, проектной мощности и промышленным запасам угля приведены на рисунок 1.

а) по сроку эксплуатации, лет

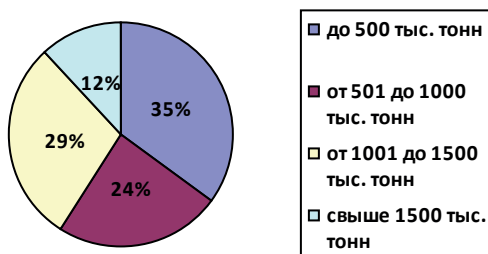


б) по глубине разработки, м





в) по проектной мощности, тыс. тонн в год



г) по промышленным запасам, тыс. тонн

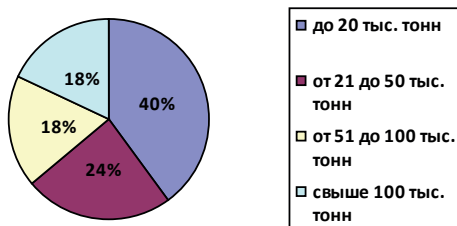


Рисунок 1 – Диаграммы распределения горнотехнических характеристик действующих шахт (% от общего числа)

Из приведенных данных видно, что только 29% шахт находятся в эксплуатации от 25 лет до 50 лет, а срок службы 24% шахт превысил 75 лет. Глубина разработки по 53% шахт превышает 1000 м. Суммарная протяженность горных выработок действующих шахт на конец 2018г. составляет 1410,3 км. Средняя длина выработок на одну шахту составляет 83,0 км, а по предприятию “Шахта им. А.А. Скочинского”, “Шахта им. А.Ф. Засядько” и “Шахта “Комсомолец Донбасса” длина выработок превышает 100 км. Разрабатываемые угольные пласты в большинстве относятся к газоносным, часть является склонными к внезапным выбросам угля и газа, к горным ударам. Часть шахт, спроектированных до создания мехкомплексов, не рассчитана на интенсивную отработку запасов и их проектная мощность (шахта № 22 “Коммунарская”, “Шахтоуправление “Донбасс”, “Шахта “Калиновская-Восточная”, “Шахта им. С.М. Кирова”, “Шахта “Иловая-ская”, “Шахта “Заря” и “Ш/у “Волынское” не превышает 500 тыс. т в год. На подавляющем числе шахт (90%) используется сплошная система отработки и мехкомплексы нового поколения, раздвижка стоек

которых с запасом (рисунок 2) перекрывает вынимаемую мощность разрабатываемых пластов. Однако избежать не вынужденных присечек вмещающих пород не удастся.

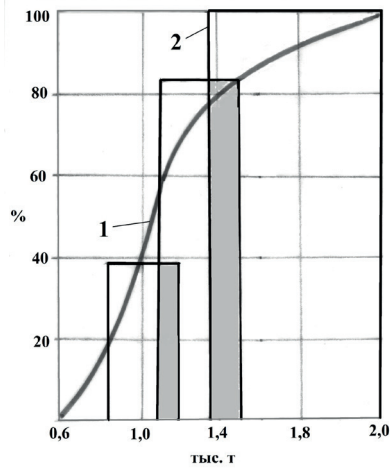


Рисунок 2 – 1 – интегрального распределения частоты вынимаемой мощности разрабатываемых угольных пластов; 2 – диапазон раздвижения параметрического ряда механизированных крепей отечественного производства

*Добыча рядового угля на шахтах, в 2018 г. увеличилась по сравнению с 2010 г. на 2199,4 тыс.т или на 1,71%. При этом наблюдается тенденция роста добычи рядового угля антрацитовых и тощих марок в общей добыче угля (рисунок 3).*

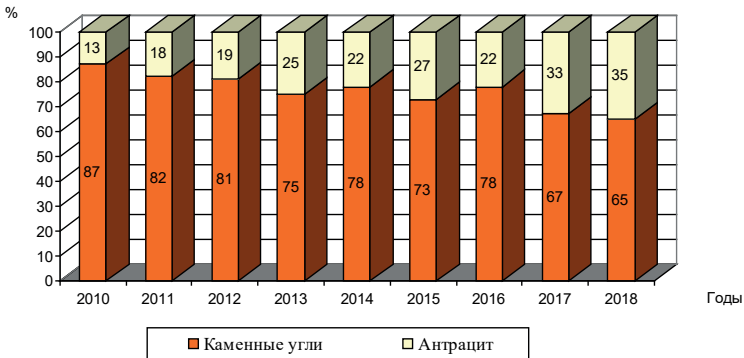


Рисунок 3 – Диаграмма временного ряда структуры добытого угля (%)

Рост общей добычи угля на государственных шахтах за рассматриваемый период времени обусловлен прежде всего увеличением нагрузки на очистной забой с 535 т/сут. в 2010 г. до 801 т/сут. в 2018 г. При этом в ГП «Донецкая угольная энергетическая компания» и ГП «Макеевуголь» производственная мощность шахт снизилась. Из анализа данных, приведенных в табл. 1, видно, что в среднем по госпредприятиям среднедействующее количество очистных забоев практически не изменилось и составило 29,3 в 2010 г. и 29,2 в 2018 г. в то время как их среднемесячное подвигание линии действующих очистных забоев увеличилось на 5,3 м/мес. (с 30,2 до 35,5 м/мес.), среднесуточная нагрузка на очистной забой увеличилась в 1,5 раза (с 535 до 801 т), что свидетельствует о наметившихся тенденциях роста интенсивности использования шахтного фонда.

Освоение проектной мощности шахт крайне неоднородно.

Чтобы хоть как-то упорядочить малую выборку статистической информации (17 объектов), шахты в зависимости от их проектной мощности нами распределены на три группы (таблица 2).

Из анализа приведенных данных видно, что объем фактической добычи в 2018 г. по мере роста проектной мощности в группе шахт растет, в то время как коэффициент освоения проектного потенциала падает. Характерно, что срок сдачи шахт третьей группы в эксплуатацию либо время после последней реконструкции не превышает 50 лет. Поэтому, по-видимому, эти шахты потенциально могут стать первыми среди объектов инвестиционных преобразований в отрасли, поскольку и промышленные запасы угля в горных отводах этих шахт достаточны для длительной отработки. Значительное влияние на ускорение отработки запасов угля могут оказывать опережающие темпы проведения подготовительных выработок, способные обеспечить ввод в действие новых очистных забоев до «затухания» работы в старых.

В условиях практически неограниченной мощности мехкомплексов природные геологические факторы (кливаж, структура и строение пласта, трещиноватость, направление слоистости вмещающих пород, крепость и сопротивление резанию угля, наличие, размеры и крепость прослоек и минеральных включений в пласте и др.), грамотное использование которых относили к области горного искусства, почти целиком утратили свое значение. Сейчас мощность вынимаемой толщи из горного массива определяется не геологической мощностью угольных пластов, а габаритами выпускаемых серийно механизированных крепей и их раздвижностью.

Таблица 1

| Наименование предприятия  | Годовая добыча угля, тыс. тонн |         | Средне-суточная нагрузка на очистной забой, тонн |         | Среднейдействующее количество очистных забоев |         | Среднейдействующая длина линии очистных забоев, м |         | Средне-месячное подвигание линии действующих очистных забоев, м |         |
|---|--------------------------------|---------|--|---------|---|---------|---|---------|---|---------|
|   | 2010 г.                        | 2018 г. | 2010 г.  | 2018 г. | 2010 г.                                       | 2018 г. | 2010 г.   | 2018 г. | 2010 г.   | 2018 г. |
| Государственные угледобывающие предприятия Министерства угля и энергетики | 5273,2                         | 7472,6  | 535  | 801     | 29,3  | 29,2    | 5980  | 7241    | 30,2  | 35,5    |
| Донецкая угольная энергетическая компания                                 | 789,3                          | 827,0   | 434  | 458     | 4,8   | 5,0     | 805   | 1183    | 19,1  | 20,8    |
| Шахтоуправление "Донбасс"   | 1369,0                         | 664,0   | 704  | 785     | 6,4   | 3,1     | 1418  | 773     | 32,8  | 29,8    |
| Макеевуголь   | 1661,7                         | 1167,2  | 540  | 825     | 9,3   | 3,7     | 2029  | 943     | 34,4  | 49,2    |

|                             |        |        |     |      |     |     |      |      |      |      |
|-----------------------------|--------|--------|-----|------|-----|-----|------|------|------|------|
| Торезантрацит               | 1453,1 | 2232,1 | 474 | 761  | 8,8 | 8,6 | 1728 | 1888 | 28,4 | 36,7 |
| Шахта им. А.Ф. Засядько     | -      | 729,0  | -   | 1228 | -   | 3,0 | -    | 884  | -    | 22,6 |
| Шахта "Комсомолец Донбасса" | -      | 1853,3 | -   | 1228 | -   | 5,8 | -    | 1570 | -    | 46,9 |

Таблица 2

| Группа шахт | Проектная мощность, тыс.т/г | Число шахт | Запасы угля, тыс.т | Среднегодовая, тыс. т/г |               |             | В среднем на одну шахту    |                      |                                |
|-------------|-----------------------------|------------|--------------------|-------------------------|---------------|-------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------|
|             |                             |            |                    | проектная мощность      | добыча угля   | тыс. т/г    | проектная мощность тыс.т/г | добыча угля, тыс.т/г | освоение проектной мощности, % |
| I           | ≤ 500                       | 6          | 146779             | 2275                    | 1813,8        | 379         | 302,3                      | 79,7                 |                                |
| II          | 501-1000                    | 4          | 229791             | 3300                    | 1184,2        | 825         | 296,1                      | 35,9                 |                                |
| III         | ≥ 1000                      | 7          | 717724             | 12060                   | 4474,6        | 1723        | 639,2                      | 37,1                 |                                |
|             | <b>Всего</b>                | <b>17</b>  | <b>1094294</b>     | <b>17635</b>            | <b>7472,6</b> | <b>2927</b> | <b>1237,6</b>              | <b>42,4</b>          |                                |

При этом, как показали исследования [3], и в очистных забоях с устойчивой кровлей избежать разубоживания угля также не удастся, поскольку причинами присечек пород могут быть неточность регулировки исполнительного органа, волнистость кровли и почвы, колебание мощности пласта, геологические нарушения и др. Кроме того, разграничение пустой породы в содержимом толщии пласта по ее источникам образования в процессе ведения очистных работ в забое невозможно. Поэтому чаще всего обрушения кровли и прихватывания почвы целиком относят к числу присечек. То, что избежать роста зольности угля при использовании мехкомплексов невозможно, свидетельствует ряд научных публикаций (например [4]).

В очистных забоях с устойчивой кровлей засорение угля часто связано с присечкой пород из-за неточности регулировки исполнительного органа, волнистости кровли и почвы, колебаний мощности пласта, при отработке пластов с ложными кровлей и почвой присечка пород предусмотрена изначально, поскольку передвижные комплексы нового технического уровня не охватывают все разнообразие горно-геологических условий Донбасса на пластах малой мощности. Так, например, на шахтах концерна RAG (ФРГ) в шахтах «Августа Виктории» и «Липне» с мехкомплексом с раздвижностью до 1,6 м в среднем за полтора года на долю пустой породы в общешахтной добыче приходится 78% и только 22% от попутной добычи при очистной выемке. При этом в очистных забоях 40% породы – это породные прослойки в пластах, 20% обрушения кровли и 32% прихватывания почвы. Как утверждают авторы [4, с.29]: «Даже при оптимальном использовании комбайновой техники на угольных месторождениях, разрабатываемых шахтами концерна RAG, существует необходимость в планировании присечки вмещающей породы». И это, заметим, на пластах средней мощностью 1,6 м.

Результаты исследования Донуги [3] показали, что по источникам разубоживания угля в КМЗ на шахтах Донбасса близки к данным концерна RAG3, были получены при выполнении исследований в рамках стратегического проекта ФРГ «Предотвращение разработки избыточного количества пустой породы» на угледобывающих предприятиях по заказу ряда компаний. Исследования носили частный характер и касались создания автоматической системы управления очистным комбайном SL420. Сплошная конвейеризация подземного транспорта и отсутствие средств бункеризации породы из вскрывающих подготовительных выработок даже

способствовали росту зольности рядового угля, выдаваемого на поверхность.

В зарубежных угледобывающих странах проблемы присечек и роста зольности угля не являются глобальными, так как добыча угля определяется по массе товарной продукции, а эффективность шахты – по размерам дохода от ее реализации. Для государственных шахт Украины плановые задания устанавливали по валовой добыче, в результате чего присечки иногда становились объектом манипуляции, а порода от проведения и ремонта горных выработок – дополнительным источником добычи. В этом легко убедиться сопоставив форму № 1 – ТЭК (уголь) с официальным изданием Отраслевого Информационного Центра [5]. Безусловно, любые технологические возможности смешивания транспортируемых грузопотоков угля из очистных забоев с породой от ремонта и проведения горных выработок необходимо ликвидировать, используя для рассредоточения во времени и изоляции каждого из транспортных потоков промежуточные накопительные емкости (бункеры, бункер-конвейеры модульного типа и др.).

Такие возможности при нынешних технических состояниях шахт крайне ограничены. По сравнению с 2010 г. на подведомственных шахтах, объем проведения подготовительных выработок в 2018 г. снизился почти вдвое а среднедействующее количество очистных забоев в 2018 г. по сравнению с 2010 г. осталось на уровне 29,2.

*Рентабельность производства*, как основной критерий любой хозяйственной деятельности, определяется равенством

$$R = \frac{D}{C} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где:  $R$  – рентабельность;

$D$  – доход от реализации произведенной продукции;

$C$  – полная себестоимость произведенной продукции.

Приведенном равенстве (1) доход представляет собой произведение массы реализованной продукции  $k$  на ее оптовую цену  $k$ .

В сложившихся условиях оптовая цена на угольную продукцию формируется стихийно, не имея долгосрочных договоров на поставку угля, и не зависит напрямую от теплотворной способности и марочного состава угля. Поэтому для дальнейших выкладок мы ограничимся основным требованием рентабельности производства, когда цена тонны реализованной продукции равна  $C_0$ . Валовая добыча

угля определяется многими недерминированными факторами объективного (геология, состояние шахтного фонда, логистика) и субъективного (уровень организации производства) характера, взаимодействие которых предопределяет интенсивность очистных работ [5, 6]. В условиях неопределенности взаимосвязи независимых переменных эмпирические уравнения – это широко используемый инструмент для описания производственных процессов при наличии детерминированных величин. Из приведенных данных (рисунок 4) видно, что характер расположения точек координат каждой из шахт относительно линии регрессии (кривая 1 и 2) идентичен, хотя точка пересечения себестоимости, равная 2000, сместилась ниже, что соответствует курсу валют. При этом скорость снижения, сопоставляемых величин себестоимости ( $C_0$ ) снизилась на  $-0,4458$  и  $-0,358$ , соответственно, в то время как точка начала координат переместилась вверх.

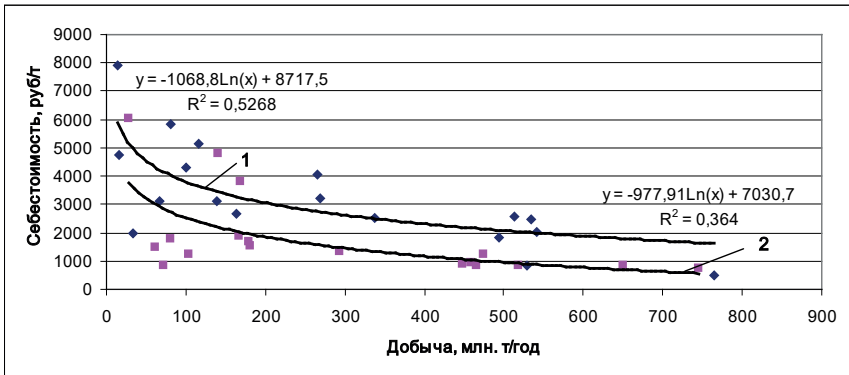


Рисунок 4 – Графики и уравнение регрессии эмпирической зависимости себестоимости 1 т добычи угля: 1 – за 2010 г. (грн./т) и 2 – за 2018 г. (руб./т)

Зависимости, приведенные на рисунке 4, характеризуются значительным разбросом координат точек шахт относительно линии регрессии, что, во-первых, характерно для предприятий с различным уровнем освоения проектной мощности и, во-вторых, обусловлено малым количеством наблюдений исследуемой выборки. Однако даже в этом случае теснота связи между исследуемыми факторами достаточна для моделирования процесса формирования добычи угля в виде эконометрических моделей. При увеличении числа шахт выборки и увеличении числа переменных модель формирования мас-



сы валовой добычи угля описывается уравнением множественной регрессии [6]:

$$Q = 2,24 F + 1346\bar{m} - 94\rho ,$$

где:  $F$  – площадь выемки, м;

$\bar{m}$  – размер вынимаемой мощности толщи пласта, м;

$\rho$  – кажущаяся плотность толщи, т/м<sup>3</sup>, определяемая из уравнения  $\rho = a + k \cdot A^d$ .

Регулируемым фактором, приведенным в равенстве, является площадь выемки угля  $F$ .

Скорость отработки запасов месторождения определяется двумя показателями: длиной очистного забоя (экстенсивная составляющая) и скоростью его подвигания (интенсивная составляющая). Суммарно – это площадь отработки массива за единицу времени. Что касается валовой добычи, то она определяется массой объема, извлеченного из горного массива (с присечками и обрушениями). При этом подвигание очистного забоя, указываемое в статотчетности шахт, не учитывает продолжительности производительного времени работы очистного забоя. Учитывая это, оценка продуктивности очистных работ во времени для сопоставительного анализа авторы предпочли определять по массе угля, добытого с 1 м линии забоя, пренебрегая при этом кажущейся плотностью массы потока угля на выходе из КМЗ, т.е.

$$q_f = \frac{Q}{l \cdot m_B}, \text{ т/м}^2 \text{ год}$$

Графическая интерпретация этого равенства представлена рисунком 5.

Важную, если не определяющую роль играют производительность труда рабочих очистного забоя, характеризуемая скоростью его подвигания.

Из графика, приведенного на рисунке 5 видно, что в среднем, при нынешнем состоянии шахтного фонда шахт, подвигание среднегодействующего забоя на каждые 100 м дает прирост добычи 26,66%. И это именно тот резерв, который может коренным образом изменить экономическое состояние отрасли, в случае соответствующего увеличения скорости проведения вскрывающих и подготавливающих выработок, которые на шахтах очень низкие. Производительность труда рабочих по добыче угля (табл. 3) на угледобывающих предприятиях почти в два раза ниже, чем достигнутая на частных предприятиях Донбасса.

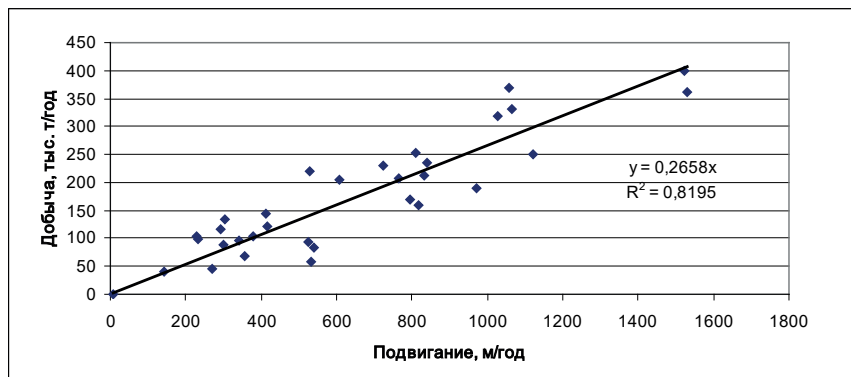


Рисунок 5 – График зависимости добычи угля из действующих забоев от подвигания линии забоя

Таблица 3

| № пп | Наименование предприятия                  | Производительность труда   |         |              |         |                    |         |
|------|---|----------------------------|---------|--------------|---------|--------------------|---------|
|      |   | рабочего по добыче, т/мес. |         | ГРОЗ, т/мес. |         | проходчика, м/мес. |         |
|      |   | 2010 г.                    | 2018 г. | 2010 г.      | 2018 г. | 2010 г.            | 2018 г. |
| 1.   | Донецкая угольная энергетическая компания | 14,4                       | 17,9    | 127,5        | 124,9   | 0,75               | 0,73    |
| 2.   | Шахтоуправление «Донбасс»                 | 19,4                       | 25,4    | 193,7        | 201,9   | 1,33               | 1,11    |
| 3.   | Макеевуголь                               | 20,2                       | 19,4    | 172,5        | 185,3   | 2,09               | 1,57    |
| 4.   | Торезантрацит                             | 18,9                       | 30,9    | 124,8        | 197,2   | 2,11               | 2,67    |
| 5.   | Шахта им. А.Ф. Засядько                   | 29,2                       | 25,9    | 471,4        | 379,7   | 1,48               | 0,95    |
| 6.   | Шахта «Комсомолец»                        | 78,7                       | 42,5    | н.д.         | 209,6   | н.д.               | 1,40    |

Как свидетельствуют данные государственной статотчетности (таблица 4), структура персонала трудящихся в 2018 г. на шахтах отличается незначительно. При этом доля рабочих по добыче, ГРОЗ и проходчиков на частных шахтах выше, чем на государственных.

Таблица 4

| Структура численности                 | Угледобывающие предприятия , % |         |                 |         |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------|-----------------|---------|
|                                       | за 2010 г.                     |         | за 2018 г.      |         |
|                                       | государственные                | частные | государственные | частные |
| Трудящиеся                            | 100,00                         | 100,00  | 100,00          | 100,00  |
| Промышленно производственный персонал | 94,90                          | 94,80   | 95,95           | 98,37   |
| Подземные трудящиеся                  | 65,50                          | 70,90   | 55,57           | 55,82   |
| Рабочие по добыче                     | 75,80                          | 78,90   | 80,27           | 83,40   |
| ГРОЗ                                  | 10,70                          | 12,00   | 11,06           | 9,87    |
| Проходчики                            | 8,00                           | 9,00    | 8,71            | 10,07   |
| Непромышленная группа                 | 5,10                           | 5,20    | 4,05            | 1,63    |

Мы не располагаем исчерпывающей информацией о фактической численности выходов рабочих основных профессий на шахтах, однако проблема нормирования и организации работ по добыче угля, как нам представляется, требует тщательного изучения в целях повышения производительности труда. Одной из основных характеристик интенсивности отработки угля горного отвода угольной шахты является объем проведения подготовительных выработок, обусловленный как техническим состоянием шахт, наличием инвестиций, так и спросом на угольную продукцию. Из приведенных на рисунок 6 графиков и уравнений регрессии можно сделать следующие выводы:

- масса добытого угля от длины проведения подготовительных выработок, как видно из рисунка 6, характеризуется средней степенью корреляционной связи ( $\sqrt{R^2} = 0,6$ ), в то время как между объемом добычи угля из вскрывающих и подготавливающих выработок с общим объемом добычи угля такая связь отсутствует. Это обусловлено, как нам представляется, сплошной конвейеризацией подземного транспорта, отсутствием промежуточных емкостей для бункеризации породы от проведения выработок и высокой зольностью угля из очистных забоев, обусловленной величиной раздвижности механизированных крепей и присечками;

- тем не менее, линия регрессии (рисунок 6б) свидетельствует

об ускорении темпов добычи угля по мере роста общей длины подготовительных выработок  $x_2$ .

- кроме того в анализируемой выработке (17 шахт) присутствуют три шахты, где добыча угля осуществляется из целиков. При этом в правой ветви линии регрессии на рисунок 5а находятся шахты, добывающие антрацит и тощие угли, являющихся дефицитными для топочных устройств украинских электростанций, в числе которых «Трипольская», «Змеевская», «Приднепровская», «Луганская», «Славянская», «Криворожская» и «Старобешевская», которые, есть предположения, нелегально через третьи страны транспортируются из шахт «Торезантрацит» и «Шахтерская-Глубокая»). Естественно, это искажает расположение точек координат на рисунок 5 и статистические характеристики уравнений регрессии.

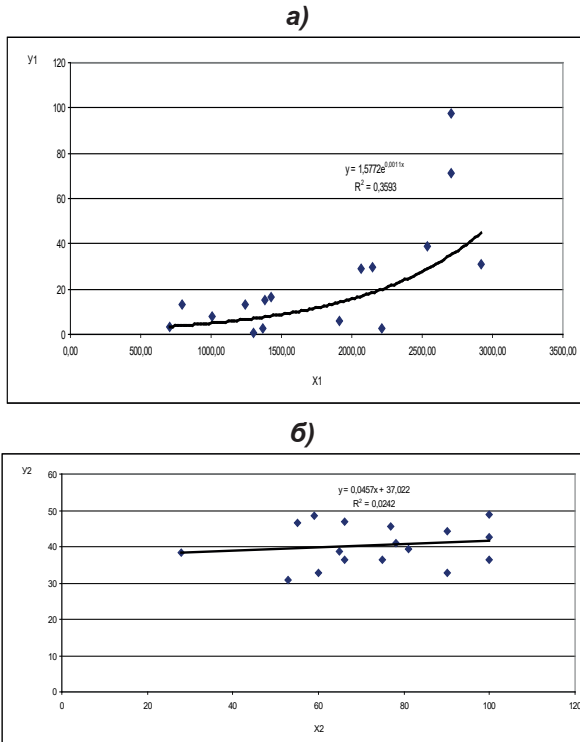


Рисунок 6 – График зависимости массы добытого угля:  
 а) от общей длины подготовительных выработок;  
 б) от длины вскрывающих и подготавливающих выработок

**Заключение.** Любые рекомендации по реформированию предприятия требуют индивидуального подхода и опираются на общую программу развития национальной экономики. Что касается угольного производства, то реформирование отрасли необходимо осуществлять в соответствии с государственной энергетической доктриной и прогнозируемым топливно-энергетическим балансом. Пока таких данных нет, можно лишь в общих чертах наметить направления преобразования в русле мировых тенденций (рисунок 6), ориентированных на высокую добавленную стоимость конечной продукции.

Угольные шахты – это часть убыточных и неперспективных для инвестирования шахт Старопромышленного Донбасса, не востребованных частными предпринимателями в процессе приватизации отрасли. Длительное время они находятся в состоянии стагнации, постепенно теряя производственный потенциал, и с течением времени требуют все больших средств на покрытие убытков, поэтому они как объекты приватизации не представляют интереса для предпринимателя. К тому же подземная добыча угля относится к рискованному виду хозяйственной деятельности с длительным сроком возврата вложенного капитала и рассчитывать на строительство шахт на территории пока оснований нет. Так или иначе, правительство будет вынуждено решать судьбу всей производственной инфраструктуры теплоэнергетики, включая шахты. Для этого требуется систематизированная всесторонняя информация о состоянии угледобывающих предприятий Донбасса. Следовательно, в первую очередь, необходимо провести всесторонний технический и экономический аудит предприятий отрасли с привлечением к его работе научных, проектных, природозащитных, финансовых и других организаций и учреждений.

### Список литературы

1 Дубов Е.Д., Майдуков Г.Л. Механизация очистных работ в Донбассе: итоги, состояние ... перспективы (К 220-летию Донбасса).

2 Майдуков Г.Л. Экономический потенциал природной составляющей горной ренты угольных месторождений Донбасса / Светлана Майдукова, Георгий Майдуков, Сергей Пономаренко, Владимир Черкасов // Глюкауф Майнинг Репорт. 2015, март № 1. – С. 30-39.

3 Основні показники роботи вугільної промисловості України за січень-грудень 2010 р. ВП «Галузевий інформаційно-розрахунковий

центр» ДП «Вугілля України» Міністерства вугільної промисловості України. – м. Макіївка. – 2010. – 289 с.

4 Основные показатели работы угольной промышленности за январь-декабрь 2018 г. / Республиканское предприятие «Информационный центр» Министерства угля и энергетики – г. Макеевка, - 2018. – 101 с.

5 *Майдуков Г.Л.* Инвестиционно-энергетический потенциал товарной угольной продукции. – Уголь Украины. – 2012. - № 6. – С. 23-31.

6 *Болбат В.Н.* Валовая добыча как фактор рентабельности угольных шахт / *Б.А.Грядущий, С.С.Майдукова, В.Н.Болбат и др.* // Уголь Украины. – 2011. - № 2. – С. 13-19.

### References

1 *Dubov E.D., Majdukov G.L.* Mekhanizatsiya ochistny`kh robot v Donbasse: itogi, sostoyanie ... perspektivy` (K 220-letiyu Donbassa).

2 *Majdukov G.L.* E`konomicheskij potencijal prirodnoj sostavlyayushhej gornoj renty` ugol`ny`kh mestorozhdenij Donbassa / *Svetlana Majdukova, Georgij Majdukov, Sergej Ponomarenko, Vladimir Cherkasov* // Glyukauf Majning Report. 2015, mart - №1. – S. 30-39.

3 Osnovni` pokazniki roboti vugi`l`noyi promislivosti` Ukrayini za si`chen`-gruden` 2010 roku. VP «Galuzevij i`nformaczi`jno-rozra-khunkovij czentr» DP «Vugi`llya Ukrayini» Mi`ni`sterstva vugi`l`noyi promislivosti` Ukrayini. – м. Макіївка. – 2010. – 289 с.

4 Osnovny`e pokazateli raboty` ugol`noj promy`shlennosti DNR za yanvar`-dekabr` 2018 goda / Respublikanskoe predpriyatie «Informacziorny`j czentr» Ministerstva uglya i e`nergetiki DNR. – g. Makeevka, - 2018. – 101 s.

5 *Majdukov G.L.* Investicijno-e`nergeticheskij potencijal tovarnoj ugol`noj produkcii. – Ugol` Ukrainy`. – 2012. - № 6. – S. 23-31.

6 *Bolbat V.N.* Valovaya doby`cha kak faktor rentabel`nosti ugol`ny`kh shakht / *B.A. Gryadushhij, S.S.Majdukova, V.N.Bolbat i dr.* // Ugol` Ukrainy`. – 2011. - № 2. – S. 13-19.

### Сведения об авторах

**Майдуков Г.Л.**, кандидат технических наук, ГУ ДОНУГИ,  
e-mail: donugi2009@mail.ru

**Болбат В.Н.**, старший научный сотрудник

**Григорюк М.Е.**, старший научный сотрудник

Капизов Ө.С.<sup>1</sup>, Азам С.<sup>1,2</sup>, Аскарулы Қ.<sup>3</sup>, Жантукеев У.Е.<sup>1</sup>,  
Керимкулова А.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан,

<sup>2</sup>Жану мәселелері институты, Алматы қ., Қазақстан,

<sup>3</sup>Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан,

## КҮРІШ ҚАБЫҒЫНАН АЛЫНҒАН АМОРФТЫ КРЕМНЕЗЕМНІҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

---

**Түйіндеме.** Күріш өңдеу өндірісінің ақырғы қалдықтары болып табылатын күріш қабығын әртүрлі температуралық жағдайларда өңдеу арқылы әртүрлі шығымдылығы бар кремнезем алуға болады. Әдетте, мұндай қалдықтары өртеуге ұшырайды немесе жай ғана далаға лақтырылынып тастауы мүмкін болғандықтан, өртеуден бөлінген түтін қоршаған ортаға табиғатына кері әсерін тигізуі мүмкін және ластануына алып келуі мүмкін. Қазіргі уақытта замануи электроникалық технологиялардың дамуына байланысты, аморфты кремний диоксиді жоғары қолданысқа ие. Соған байланысты осы жұмыста аморфты кремнеземді алудың мәселелері қарастырылды. Және оның сипаттамаларын анықтау үшін жұмыс барысында рентгендік дифракциялау, инфрақызыл спектрлеу және сканерлеуші электронды микроскопия әдістері қолданылды. Аталған жұмыста кремний диоксидінің тазалығы мен құрылымы анықталды.  
**Түйінді сөздер:** Кремнезем, күріш қауызы, күріш қауызы күлі, күйдіру, кремний диоксиді.

• • •

**Аннотация.** В статье приводится как из рисовой шелухи, которой являются конечными отходами рисообработывающего производства, можно получить кремнезема различной степени выхода, обработав при различных температурных условиях. Как правило, такие отходы подвергаются сжиганию или могут быть просто выброшены, дым, выделенный от сжигания таких отходов, может негативно повлиять на окружающую среду и привести к загрязнению. В настоящее время, в связи с развитием современных электронных технологий, аморфный диоксид кремния обладает высоким использованием. В этой работе были рассмотрены вопросы получения аморфного кремнезема. Для определения их характеристик, в процессе работы были использованы методы рентгеновского дифракции, инфракрасного спектрального и сканирующей электронной микроскопии. В данной работе определена чистота и структура диоксида кремния.

**Ключевые слова:** Кремнезем, рисовая шелуха, зола рисовой шелухи, обжиг, диоксид кремния.

• • •

**Abstract.** The article shows how the rice husk, which is the final waste of rice processing production, can be obtained from silicon dioxide of various degrees of yield, processed under different temperature conditions. As a rule, such waste is incinerated or can be simply thrown out. the smoke emitted from the incineration of such waste can negatively affect the environment and lead to pollution. Currently, due to the development of modern electronic technologies, amorphous silicon dioxide has a high use. In this work, the issues of obtaining amorphous silica were considered. The methods, such as, X-ray diffraction, infrared spectral and scanning electron microscopy were used to determine characteristics of obtained silica. In this paper, the purity and structure of silicon dioxide are determined.

**Key words:** Silica, rice husk, rice husk ash, roasting, silicon dioxide.

**Кіріспе.** Кремний – өз алдына жеке кездесетін элементтердің өте сирек минералды түрі болып табылады. Шын мәнінде, бұл кремнийдің сирек химиялық элемент ретінде таңқаларлық жайы болып табылады, табиғатта жер қыртыстарында 27,6% шамасында кездесуіне қарамастан таза түрде кездесу мүмкіндігі өте аз [1]. Таза түрде ол іс жүзінде жоқ, негізінен  $Si+O_x$  деп аталатын қосылыстар түрінде планетадамызда кездеседі. Кремний диоксиді химиялық қосылыс, сондай-ақ  $SiO_2$  (латынша – «Silex») ретінде белгілі.  $SiO_2$  химиялық формуласы бар кремний оксиді болып табылады және ежелгі уақыттан оның қаттылығы белгілі болған.  $SiO_2$  көбінесе табиғатта құм немесе кварц түрінде кездеседі және жер қыртысындағы ең көп таралған минерал болып табылады.  $SiO_2$  өмірдің барлық бағыттарында қолданылады, мысалы, шыны өндірісіндегі негізгі ингредиент болып табылады [2], кристалл күйдегі  $SiO_2$  тығыз мұнай мен сланец газы бар қабаттардың сумен бұзылулары кезінде пайдаланылады, сондай-ақ кремний оксиді  $SiO_2$  гидратталған тамақ өнімдерін өндіруде әдеттегі қоспа болып табылады. Тіс пасталарында қатты абразив ретінде пайдаланылады [3], микрочиптер жасауда және т.б. өнеркәсіптерде кең қолданысқа ие. Егер де кремнийді оттегіден бөліп алатын болсақ, онда литий батареяларында анодтық материал ретінде, және сондай-ақ басқа да жартылай өткізгіш ретінде де электроника өнеркәсібінде қолдануға болады [5].

Бұдан бұрын айтылып өткендей,  $SiO_2$  табиғатта көптеген заттардан табылған және олардың бірі күріш қабығы (КҚ) болып табылады [6]. Күріш қабығы – бұл ішкі компоненттерді жәндіктер



мен түрлі бактериялардан қорғайтын күріш ядросының қабығы болып табылады. Ол қатты материалдардан, оның ішінде  $\text{SiO}_2$  және тұқымды қорғайтын лигниннен құралған. Ұнтақталған ақ күріштің әрбір килограммы шамамен 0,28 кг салыстырмалы түрде өңдеу кезінде күріш өндірісінің жанама өнімі ретінде береді [7]. КҚ ұзақ уақыт бойы қалдық зат болып есептелді және жиі лақтырылды немесе өртелді. Бірақ оны жинау оңай болғандықтан, ол арзан, кейбір энергия көзі ретінде және кірпіш өндірісі сияқты шағын қолданыстар үшін және кейбір күріш диірмендерінде күрішті кептіру үшін пайдаланылатын бу қозғалтқыштары мен газдандырғыштарының отыны ретінде пайдаланылды. КҚ-дағы  $\text{SiO}_2$  жоғары құрамы оны құрылыс және бетон өнеркәсібі үшін, сондай-ақ тотықпайтын наноматериалдарды өндіру үшін жақсы қоспа жасауға қолданылатын [8] және биостимуляторды тазалау үшін де қолданылды [9].

2017 жылы күріш өндірісінің әлемдік көлемі 758,8 млн. тоннаны құрады, бұл 2016 жылға қарағанда 0,8 пайызға, басқаша айтқанда 5,8 млн.тоннаға жоғары. Орташа алғанда күріш алқаптарында әлемдік өндірістің жылдық көлемінің 28%-ы күріш қауызына келеді, бұл дегеніңіз 212,5 млн.тонна. КҚ-ның шамамен талдауына келетін болсақ 75% органикалық затты құрайды, ал қалған 25% салмағы күлді күріш қабығын құрайды және КҚ-ның күлі, яғни КҚК, өз кезегінде, 85-90% аморфты  $\text{SiO}_2$  тұрады.

**КҚ-нан кремний диоксидін алудың кезеңдері.** КҚ-дан таза  $\text{SiO}_2$  алу бірнеше әдісті қажет етеді. Қазіргі уақытта әртүрлі тазалықтағы КҚ-дан  $\text{SiO}_2$  алудың көптеген әдістері бар. Мысалы, Бакар және басқалар [11] тазартылған  $\text{SiO}_2$ -мен 99%, Азат және басқалармен [12] 99,67%, Конгманкланг және басқалар [13] 99,29%, Шимшек, [14] 98% және Юнусамен және басқалармен. [15] 96,1%-ға шейін тазартылды. Бұл бөлімде таза  $\text{SiO}_2$ -ні КҚ-нан алудың бірнеше әдісін қарастырылған.

Kalpathy және басқалары [16] 93%  $\text{SiO}_2$  химиялық әдіспен алды. 10 грамм КҚ күліне 60 мл дистилденген сумен араластырды және рН-тарын 1, 3, 5 және 7-ге дейін, 6н және 1н HCl ерітінділері арқылы жеткізді. Бұл дисперсиялар 2 сағат бойы араластырылып, сүзгіш қағаз арқылы сүзіліп, содан кейін КҚК қалдықтарын 100 мл сумен жуады. Қалдықтар  $\text{SiO}_2$  алу үшін пайдаланылған. Әр рН кезінде сүзу және жуу буландырғыш тостағышта жиналып, кептірілді. Порция бойынша 60 мл 1н NaOH ерітіндісін жуылған және жуылмаған КҚК үлгілеріне қосты және  $\text{SiO}_2$  еріту және натрий силикаты ерітіндісін алу

үшін тұрақты араластыру кезінде көлемі 250 мл жабық колбаларда қайнатылды. Ерітінділерді тұзсыз сүзгіш қағаз арқылы сүзеді, ал көміртегі қалдықтарын 100 мл қайнаған суда жуады. Сүзгіштер мен жуғыштарға бөлме температурасына дейін суытуға қалдырылды және оларды 1н HCl ерітіндісімен рН-ы 7-ге дейін тұрақты түрде араластыру арқылы титрледі. SiO<sub>2</sub> гелдері рН<10 дейін төмендеген кезде тұнбаға түсе бастады. Пайда болған SiO<sub>2</sub> гелдері 18 сағат шамасына қалдырылады. Содан кейін гелдерге 100 мл дистилденген су қосып гелді жақсылап араластыру арқылы суспензия алады. Содан кейін суспензияларды 15 минут бойы центрифугаға салады, 2500 айналым/мин кезінде центрифугалаудан өткен мөлдір супернатанттарды төгіп тастайды да, жуу кезеңін қайта қайталады. Соңында алынған гелдер химиялық стаканға ауыстырылып, ксерогель алу үшін 12 сағат бойы 80°C температурада кептірілді.

Rambo және тағы басқалары SiO<sub>2</sub> ксерогельді алу үшін КҚК үлгілерін пеште 24 сағат бойы 110°C температура кезінде кептірді. SiO<sub>2</sub> дайындау NaOH және KOH экстрагирлегіш ерітінділері мен катализатор ретінде сәйкес бикоркарбонаттарды қолданды. Микронизацияланған КҚК-ін (20 г) көлемі 250 мл дөңгелек колбаға салып, тиісті сілтілі ерітіндімен және рН көрсеткіштері (1, 3, 5, 7 және 9) болатындай етіп, негіз концентрациясы ( 2,0, 3,5, 5,0, 6,5 және 8,0 моль/л), ал катализатордың концентрациясы (0,6, 1,3, 2,0, 2,7 және 3,4 моль/л) және уақыты (1, 2 , 3, 4, 5, 6, 7, 8, (2, 3, 4 және 5 сағ) болатын болжанылған беттік реакцияласу әдісімен (RSM) жасады.. Содан кейін қоспаны кері тоңазытқышпен 3 сағат бойы ұстайды. Осыдан кейін ерітіндіні қағаз сүзгісі арқылы өткізіп, сүзілген материал RSM болжанған рН-ға дейін SiO<sub>2</sub> қызғылт тұнбаларын аздап түзген 5,5н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ерітіндісінің көмегімен қышқылдандырылды,. Оны қайтадан жоғарыда айтылған әдіс бойынша, 20 мл 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> қосу арқылы сүзілген. Түссіз SiO<sub>2</sub> ксерогелі 24 сағат бойы пеште кептірілді; осыдан кейін оны қышқылдың артық мөлшерін (рН ~ 6) жою үшін дистилденген сумен жуып, кейіннен 24 сағат бойы кептіру кезеңіне қайта пешке салынды.

Battegazzore және басқалары [18] өзінің тәжірибелерінде 40 г ұнтақталған КҚ-н алып, оны 386 г дистилденген судан және 14 г күкірт қықылынан тұратын ерітіндіге салып 3 сағат бойы 80°C температурада араластырды. Бұл әдісті құрамында қара заттар пайда болмасы үшін алдыңғы қадам ретінде қолданылды.. Қатты қалдықтарды сүзу әдісімен бөліп алды, деиондалған сумен жуып, ары ұарай кептірді. Содан кейін қалдықтан алдыңғы салмағының 15%-ы

мөлшерінде болатындай  $\text{SiO}_2$  алу үшін  $800^\circ\text{C}$  температурада 1 сағат бойы муфель пешінде қыздырылды.

КҚ-ғы  $650^\circ\text{C}$  температурада муфель пешінде КҚК-не айналады. Барлық химиялық заттар аналитикалық сапада болды және алдын-ала тазалауға ұшырамады. КҚК-ны металл қоспаларынан жою және  $\text{SiO}_2$  тазалығын арттыру үшін қышқылмен алдын ала өңдеді. КҚК-ның суда диспергирленген Ph үлгілерін қышқылдарды ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) қолдану арқылы 7-ге дейін жеткізген. Үлгілерді 2 сағат бойы араластырып, сүзіп, қалдықтарды сумен жуады. Алдын ала өңдеуден кейін қалдықтарды  $\text{NaOH}$ -да диспергациялап, 1 сағат бойы қайнатты. Ерітінділерді сүзіп, көміртегі қалдықтарын қайнаған сумен жуады. Шайынды суды жинап,  $\text{HCl}$ -мен титрлеудің алдында,  $\text{pH}=7$  болмайынша, бөлме температурасына дейін салқындатады.  $\text{SiO}_2$  шөгіндісі  $\text{pH}$  10 төмен болған кезде басталды.  $\text{SiO}_2$  шөгінділері кем дегенде 12 сағат бойы ұсталынды. Гельдерді деиондалған суы бар суспензия түзе отырып ұсақтап, оны кейін 2500 айн/мин-та центрифугалаған. Супернатантты лақтырып, қажет болған жағдайда, жууды қайталайды. Содан кейін гельдерді  $80^\circ$  температурада стаканда кептірілді [19].

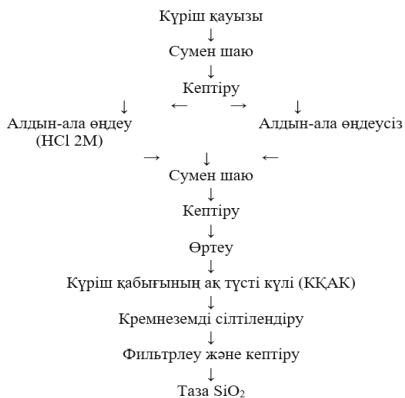
Moosa және т. б.  $\text{SiO}_2$  алу үшін [20], алынған 100 гр тазартылған КҚК-ын 800 мл (2н)  $\text{HCl}$  ертіндісі бар кері тоңазтқышпен,  $70^\circ\text{C}$  температурада 1 сағат уақытында қыздырады. Реакция аяқталғаннан кейін қышқылды 0,45 мкм пор мөлшері бар сүзгіш қағазды пайдалана отырып, тазартылған сумен бірнеше рет жуу арқылы КҚК-нен алып тастайды. Содан кейін оны электр пешінде 6 сағат ішінде  $50^\circ\text{C}$  температурада кептірді. Өңделген КҚК-ны содан кейін 3 сағат бойы  $650^\circ\text{C}$  кезінде  $10^\circ\text{C}/\text{мин}$  қыздыру жылдамдығымен электр қорапты пеште қыздырды.  $400^\circ\text{C}$  кезінде өңделген күріш қабығының күлі қара түсті, ал  $650^\circ\text{C}$  кезінде өңделген күріш қабығының күлі ақ түсті болады. 10 гр алынған кремнеземді 80 мл  $\text{HCl}$  6н ертіндісі бар кері тоңазытқышпен 3 сағат бойы  $65^\circ\text{C}$  қайнатады. Реакция аяқталғаннан кейін қышқылды кремний диоксидінен кетіру үшін, оны бірнеше рет тазартылған сумен жуып, содан кейін 0,2 мкм пор мөлшері бар сүзгіш қағазды пайдалана отырып вакуумды насоспен сүзеді. Кремний диоксиді 6 сағат ішінде  $50^\circ\text{C}$  температурада электр пешінде кептірілді. Содан кейін кремний диоксиді натрий силикаты түзілуімен, 2,5н  $\text{NaOH}$  ертіндісімен 14 сағат бойы магниттік әдіспен араластырылды.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ертіндісін натрий силикаты ертіндісіне  $\text{pH}$  8-ге тұрақты араластыру арқылы тамшылатып қосты, содан кейін нанокремді гель түзілді. Содан кейін гель  $\text{pH}$  мәні 7-ке тең болғанға дейін екі рет дистилденген сумен жуылып, содан

кейін кремний диоксидінің нанобөлшектері ұнтағының пайда болуы-сымен, 48 сағат бойы 50°C пеште кептірілді.

Таза нанокремнезем ұнтағы процестің әр түрлі параметрлерін бақылай отырып, КҚК-нан шығарылды. КҚ кез келген жабысқан қоспаларды жою үшін тазартылған сумен мұқият жуады. Жуылған КҚ бөлме температурасында ауада кептіріп, одан кейін инертті атмосферада муфтель пешінде 973 К температурада 3 сағат бойы өртейді. Алынған КҚК-ін құмды, шаңды, жеңіл дәндер мен ұсақ кірді кетіру үшін рН-ын бейтараптандыру үшін тазартылған сумен жуылды. Бейтарапталған КҚК-ін 6н HCl (Merck GR) қолдана отырып, 1,5 сағат ішінде кері тоңазытқышпен қайнатылды, содан кейін металл қоспаларын алып тастау және таза наносиликатты алу үшін сүзеді. Сүзілген КҚК-ін ыстық сумен біргеше қайталап шаяды, кейін NaOH (Merck GR) ерітіндісімен әртүрлі концентрациялармен қайнатып, одан кейін 353 К температурада 1,5 сағат бойы магнит араластырғышпен араластырылды, және кейін натрий силикатын алу үшін сүзгіден өткізілді. Натрий силикатын толықтай алу үшін алынған қалдықты ыстық сумен жақсылап шаяды. Алынған сүзіндінің рН көрсеткішін 2-ге шейін, нанокремнезем қалдықтарын алу үшін H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> концентрлі күкірт қышқылын пайдалана отырып түсірді. Алынған қалдықты жылы сумен үш мәрте шайды және шайып болғасын сүзгіден өткізді. Алынған қалдықты 973 және 1373К температурада 3 сағат бойы муфель пешінде қыздырды. Ойлаған мөлшерлі дәнектерді алу үшін алынған кремнезем ұнтақтарын ұнтақтау әдісін қолдана отырып ұнтақталды [21].

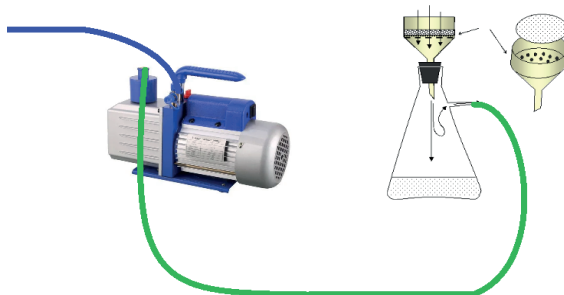
**Тәжірибелік бөлім.** Бұл тәжірибелерді орындау үшін алдымен бізге мынадай заттар мен құрылғылар қажет болады: ағынды су, дистилденге су, HCl (концентрлі), натрий гидроксиді (NaOH), фильтрлеуші қағаз (WhatmanTM, класс 41), вакуумды насос, муфель пеші (SNOL 8, 2/1100 LSM01), кептіргіш пеш (SNOL 20/300 LSN11 ST) және магнитті араластырғыш (Four E's 5 Inch, 100-1500 айн/мин). Барлық процесті басынан аяғына дейін орындауға 28 сағат уақыт кетеді.

КҚ Қазақстан Республикасының Қызылорда облысынан таңдалынып алынды. Ұзындығы шамамен 5-10 мм болатын үлгілер алдымен ағынды сумен жуылады, бөтен заттарды кетіру үшін дереу ыстық дистилденген сумен жуылады және пеште 10°C температурада 12 сағат ішінде кептіріледі (құрамындағы судың булануы үшін). Күріш қабығын өңдеу және күріш қабығынан таза SiO<sub>2</sub> алу сызбанұсқасы төменде көрсетілген (1-сурет).



1-сурет – Күріш қабығын өңдеу және күріш қабығынан таза  $\text{SiO}_2$  алу сызба нұсқасы

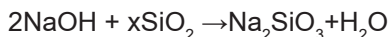
50 грамм шикізат үлгісін 2М HCl ерітіндісімен (500 мл) өңдеді және 2 сағат бойы  $90^\circ\text{C}$  температурада қыздырады. Дайындалған үлгіні рН көрсеткіші 7 болғанға шейін үздіксіз дистилденген сумен шаяды және ертіндіден сұзу арқылы бөліп алады. КҚ-ын  $105^\circ\text{C}$  температурада 12 сағат бойы кептіреді және 4 сағат бойына басқа температурада муфель пешінде КҚ-ның ақ түсті күлін алу үшін қыздырады. Алынған күлдің түсі температураның әртүрлілігіне байланысты әртүрлі болып шықты.  $400\text{-}500^\circ\text{C}$  температурада қара түсті күлдер кетеді, ал  $750\text{-}900^\circ\text{C}$  сұр түсті күл алынады. Бұл жанудың жоғары эффективті болғанын білдіреді. Ақ КҚК-і  $550\text{ - }700^\circ\text{C}$  температурада, уақыт 4 сағат кезінде алынды. Оптимальды температура ретінде  $600^\circ\text{C}$  температураны алдық. Процесс аяқталған кезде алынған ақ КҚК-нің салмағы шамамен 9 гр болды.



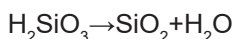
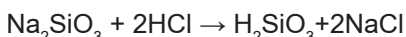
2-сурет – Ерімейтін қалдықтарды сүзуге арналған вакуумдық сорғыш сызба нұсқасы

Кейін ақ КҚК-ін 100 мл 2М NaOH ерітіндісінде 90°C температурада 2 сағат бойы үнемі үздіксіз араластыра отырып, суда ерігіш қатты SiO<sub>2</sub> экстрагирлеу үшін араластырылады.

Химиялық реакция:



Суда ерігіш натрий силикатының ерітіндісін вакуумдық сорғы арқылы ерімейтін қалдықтарды кетіру үшін сүзгіден өткізілді (2-сурет). Фильтрациядан кейін ол тұрақты араластырумен концентрацияланған HCl ерітіндісімен әрекеттесу арқылы ерімейтін кремний қышқылына айналады.



Соңғы өнімді сүзгіден өтіп, қосалқы өнімдерді кетіру үшін ыстық сумен жуады (құрамындағы NaCl қалдықтарын). Ақырында, тазартылған кремнеземді 120°C температурада лабораториялық кептіру пешіне 1 түнге қойылды. Кептіруден кейін біз ақ кеукті ұнтақ алынылды (SiO<sub>2</sub>).

**Нәтижелер және талқылау.** Әр түрлі шығымдылығы бар кремнеземдердің әр түрлі сорттарын кальцийлеу немесе жану температурасы мен әр түрлі өңдеу температураларында кальцийлеу немесе жану ұзақтығының әртүрлілігіне байланысты алуға болады (3-сурет).

Белсендіргіш зат, алдын-ала жуылған қышқылды қабықның температурасы мен қыздыру уақыты, активтендіргіш заттың концентрациясы бәрі шығымға, тұндырылған наносиликаның бетіне әсер етеді. Көрсетілген жану жағдайында алынған ақ КҚК-нің шығымы (4 сағат ішінде, 600°C) 14,9% құрады (1, 2 кесте).

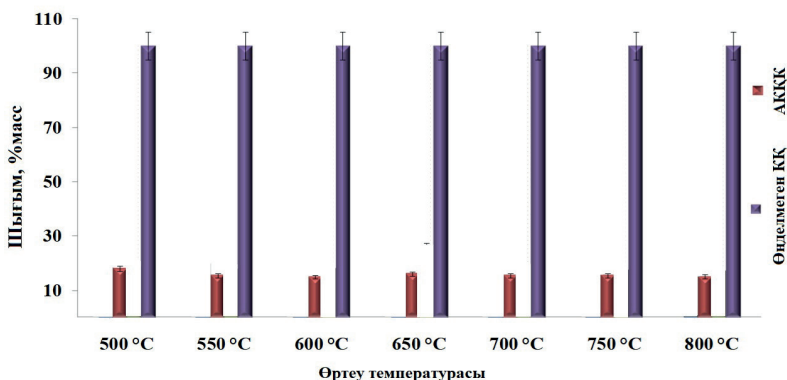
**1-кесте – Алдын-ала өңделген (HCl) әдіспен және алдын-ала өңделмеген әдіспен (термиялық әсер ету) алынған ақ КҚК-нің шығымы**

| Әдістер         | Шығым, масс. % |                  |
|-----------------|----------------|------------------|
|                 | КҚК            | SiO <sub>2</sub> |
| Алдын-ала өңдеу | 16             | 11,5             |
| Термиялық өңдеу | 14,9           | 11,6             |

**2-кесте – КҚ-нан алынған ақ КҚК-нің муфель пешінде бірден өртеген кездегі шығымы**

| Жану температурасы<br>( $t=4$ сағат) | Шығым, мас. % |               |
|--------------------------------------|---------------|---------------|
|                                      | КҚ            | Өңделмеген КҚ |
| 500°C                                | 7,9           | 100           |
| 550°C                                | 5,4           | 100           |
| 600°C                                | 4,9           | 100           |
| 650°C                                | 6             | 100           |
| 700°C                                | 5,5           | 100           |
| 750°C                                | 5,5           | 100           |
| 800°C                                | 5             | 100           |

КҚ-нан алынған кремнийдің шығымы және оның тазалығы өндіріс схемасына да байланысты. Ақырғы таза өнімнің ең жоғары шығымдылығы (11,5%) қышқылмен алдын ала өңдеу кезінде түзіледі (АКҚК + HCl) (1-кесте). Кремнийдің мөлшері қолданылатын жуғыш реагенттердің тазалығына (қышқыл мен оның құрамына) байланысты ~ 90,1-99,5% аралығында болды (4,5-суреттер).

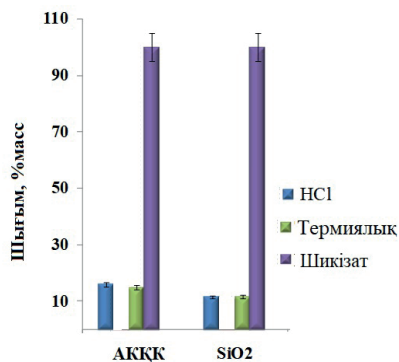


3-сурет – КҚ-нан (HCl-сыз) алынған АКҚК-нің проценттік шығымы

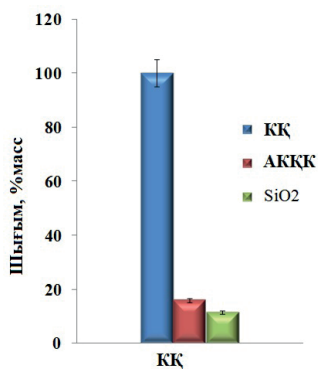
КҚ-ның және АКҚК-нің элементтер құрамы рентген-флуоресценттік анализмен (XRF) ұсынылған. Алынған мәліметтер зерттеліп отырған КҚ-ның құрамының әртүрлі элементтерге бай екенін көрсетеді (3, 4 кесте).

**3-кесте – Аморфты кремнеземнің элементтік құрамы (600°C)**

| Үлгі      | Дайын өнім шығымы, % | Құрамы, %        |                   |                                |                 |       |                  |                                |       |
|-----------|----------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|
|           |                      | SiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | Cl    | K <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ZnO   |
| АКҚК +HCl | 11,5                 | 95,87            | 3,578             | 0,032                          | 0,018           | 0,279 | 0,021            | 0,014                          | 0,006 |



4-сурет – Әртүрлі әдістермен КҚ-ы және АКҚК алынған кремнеземнің проценттік шығымдары



5-сурет – АКҚК мен КҚ-нан (HCl өңделген) алынған кремнеземнің проценттік шығымдары

**Кесте 4 – Аморфты кремнеземнің элементтік құрамы (600°C)**

| Элементтер                     | Үлгі              |            |        |
|--------------------------------|-------------------|------------|--------|
|                                | КҚ (өңделмеген) % | АКҚК+HCl % | АКҚК % |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,365             | 3,578      | 0,079  |
| MgO                            | 0,311             | n/d        | 0,03   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,23              | 0,032      | 0,134  |
| SiO <sub>2</sub>               | 90,194            | 95,871     | 99,506 |
| SO <sub>3</sub>                | 2,021             | 0,018      | 0,021  |
| Cl                             | 0,278             | 0,279      | 0,041  |
| K <sub>2</sub> O               | 2,949             | 0,021      | 0,074  |
| CaO                            | 2,618             | n/d        | 0,036  |
| MnO                            | 0,138             | n/d        | n/d    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,570             | 0,014      | 0,071  |
| CuO                            | 0,071             | n/d        | n/d    |
| ZnO                            | 0,037             | 0,006      | 0,007  |

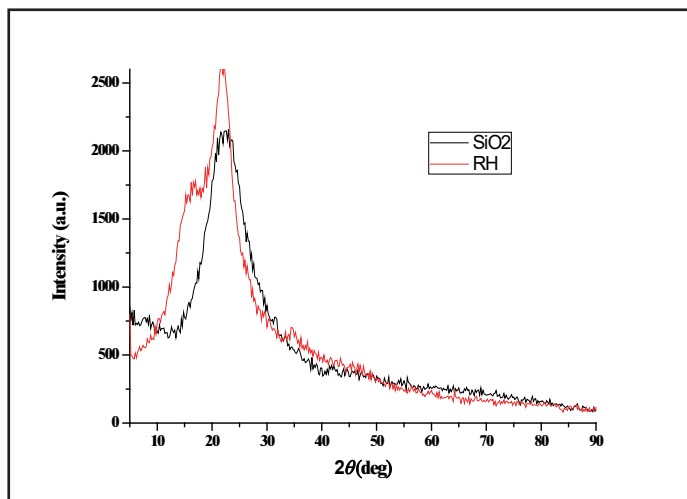


|           |       |     |     |
|-----------|-------|-----|-----|
| $Tm_2O_3$ | 0,172 | n/d | n/d |
| $PtO_2$   | 0,047 | n/d | n/d |
| $P_2O_5$  | n/d   | n/d | n/d |
| NiO       | n/d   | n/d | n/d |

*n/d – табылмады*

Рентгенқұрамды және TG анализі. Кремний диоксиді үлгілерінің рентгендік дифракциясы заңдылықтары сканерлеу жылдамдығы 0,02-2 $\theta$ /мин болатын Rigaku ұнтақты дифрактометрмен, 10-дан 90-ға дейінгі 2-тета бұрыштардағы никель-сүзгіден өткен Cu-K $\alpha$  сәулеленуін қолдана отырып жасалды.

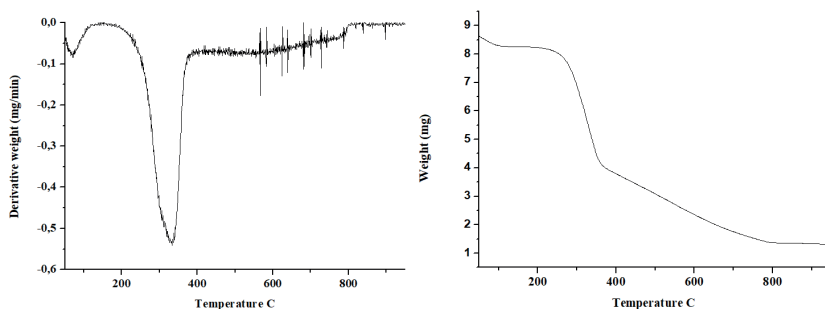
Алынған кремний ұнтағы рентгендік аморфты күйде болады, және оны рентгендік фаза талдауы растайды. Рентгендік дифракциялық үлгілерде бір диффузиялық шың 2 $\theta$  = 24° аймақта байқалады, бұл кремний диоксиді КҚ аморфты құрылымына тән, ал аморфты кремний диоксиді үшін диффузиялық шыңның максималды мәні 2 $\theta$  = 30° болды.



6-сурет – КҚ-нан алынған SiO2 рентгенограммасы

Максималды қарқындылығы 24,0 2 $\theta$ ° кезінде байқалатын кең ореол (Сурет 6) 0,36 нм d-қашықтыққа сәйкес келеді және алынған кремнийдің аморфты құрылымын растайды.

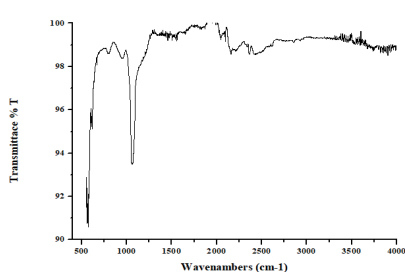
Аморфты құрылымы өте кеуекті және бетінің үлкен аумағына ие, сондықтан да химиялық өңдеу мен сіңіру үшін жоғары белсенділік береді. Жалпы алғанда, кремнийдің мұндай жағдайларда коммерциялық мақсатта пайдаланылуы үшін температурасы жоғарырақ кристалды формалармен сипатталатын кремнийдің минералды көздеріне қарағанда үлкен мүмкіншіліктері бар.



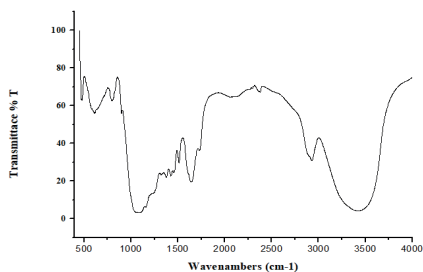
7-сурет – Күріш қабығының TGA және DTG суреттері

КҚ-ның құрамында органикалық компоненттердің бар-жоқтығын анықтау үшін TG және DTG талдаулары қолданылды (Сурет 7). Сонымен қатар, TGA-DTG қисықтары күріш қауызының термиялық ыдырауының үш фазасына былайша бөлінді; I кезеңде жеңіл компоненттерді кептіру және буландыру кезеңі (50-250°C), II фазада гемицеллюлоза мен целлюлозаның ұшпа компоненттерін жою (250-400°C) және лигнинді ыдыратуға арналған III фаза (400-900°C). Бұл кезде 700°C-тан кейінгі қалдық қатты қалдық ретінде белгіленді. Бастапқы салмақ жоғалтудың 50-250°C температура аралығында болатындығын көруге болады, екінші кезең 300-400°C температурада тез және үлкен салмақ жоғалтуды көрсетеді. Бұл негізгі органикалық компонент гемицеллюлоза мен целлюлозаның термиялық ыдырауына байланысты.

Үшінші кезеңде салмақ жоғалуы шамамен 25-30% құрайды, бұл термиялық орнықты хош иісті полимер лигниннің 300-ден 600°C-қа дейінгі температурада біртіндеп ыдырауға ұшырайтына байланысты. Ал күлдің қалған бөлігі негізінен жанбайтын кремнийден тұрады (~ 15%, > 600°C).



а) SiO<sub>2</sub>



б) КҚ

8-сурет – SiO<sub>2</sub> (а) және КҚ-ның (б) ИК-Фурье спектрі

КҚ-да және SiO<sub>2</sub>-де болатын функционалды топтар FTIR-ATR спектрлерімен анықталды (8-сурет).

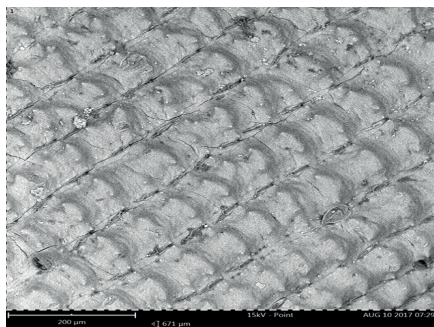
8-суреттегі кең шың шамамен 3500 см<sup>-1</sup> -О-Н-валентті су молекулаларының тербелістеріне сәйкес келеді. Жұтылу шыңы 2926 см<sup>-1</sup> деңгейіне целлюлоза, гемицеллюлоза және лигнин құрылымдарындағы -CH<sub>3</sub> және CH<sub>2</sub> топтарындағы С-Н алифатикалық байланыстарының симметриялы және асимметриялық тербелістеріне және сәйкесінше 2114, 1423 және 1383 см<sup>-1</sup> сәйкес келуі мүмкін метилен тобының -С-Н валентті тербелістерімен байланысты. 1632 см<sup>-1</sup> кезіндегі шыңды альдегидтер мен кетондардың -С=О карбонильді топтарындағы валентті тербелістерге сәйкестендіруге болады. 1515 см<sup>-1</sup> кезіндегі шыңды -С-О карбоксилат топтардағы созылуларға сәйкес келеді. 1095, 898, 796, 662 және 471 см<sup>-1</sup> кезіндегі кең шыңдар силоксан топтарының валентті тербелістеріне сәйкес. 1055 см<sup>-1</sup> кезіндегі жұтылу шыңы 8-сурет (көк) (Si-O-Si) силоксан байланыстарының тербелістеріне сай келеді және бұл кремнезем торы [22] мен [23] мақаладағы кремнеземнің жоғарыконденсирленген торына сай келгенін коруге болады. Алынған SiO<sub>2</sub> спектрлері органикалық немесе бейорганикалық қоспалармен байланысты басқа жолақтарды көрсетпейді.

Тікелей жанудың бастапқы және кейінгі кезіндегі салыстырмалы ылғалдылықтың морфологиясы (сканерлеуші электронды микроскопия).

SEM Quanta 3D (FEI, АҚШ) ұсынған КҚ-нан алынған кремний оксидінің конструкцияларын салыстыру.

9 суретте тікелей жанудың алдындағы бастапқы салыстырмалы ылғалдылықтың SEM суреттері көрсетілген. Суреттерден көрініп тұрғандай, үлгілер өте тығыз беттер екенін көре аламыз.

9 (а) сурет – КҚ-ның сыртқы беттерінің морфологиясын суреттейді, КҚ-ның сыртқы беті тегіс емес және өте бүдірлі. 9 (б) сурет – кремнезем үлгісінің аздап үлкейтілген SEM бейнесі. Наномөлшерлердің кедір-бұдырлығы көлемде таралған кремнезем нанобөлшектердің морфологиясына байланысты.



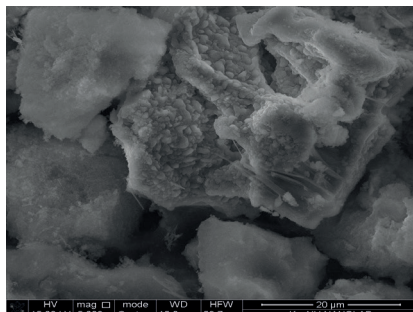
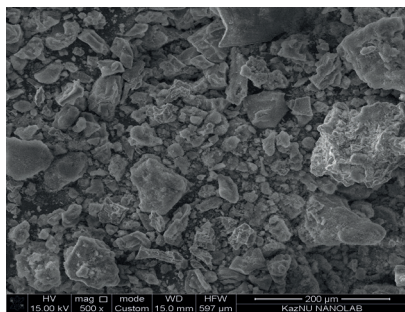
а)

б)

9-сурет – КҚ-ның термиялық өңдеу алдындағы СЭМ-суреттері (а) және SiO<sub>2</sub>-нің СЭМ-микрофотографиясы

Тұз қышқылымен алдын-ала өңдеуден кейін кремнийдің (сканерлеуші электронды микроскопия)

Алынған кремний ұнтағының бөлшек морфологиясы Quanta 200i 3D сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен зерттелді (FEI компаниясы, АҚШ) (Ұлттық нанотехнология зертханасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан) (9-сурет).



10-сурет – КҚ-нан алынған SiO<sub>2</sub>-нің SEM-микрофотографиясы

Кремний диоксидінің үлкейтілген SEM кескіні (10-сурет) көрсеткендей, наноөлшемді кедір-бұдырлылығы көлем бойына таралған кремний диоксиді нанобөлшектерінің морфологиясына байланысты екенін көруге болады.

**Қорытынды.** Тазалығы жоғары кремнезем КҚ-нан қарапайым тұндыру әдісімен синтезделеді. 2М HCl ерітіндісімен КҚ-ы алдын-ала өңделді, кейін 90°C температурада 2 сағат бойы қыздырылды, содан кейін АКҚК-і 100 мл 2М NaOH ерітіндісімен 90°C температурада араластырылды, бұл кремний диоксидінің тазалығы жоғары құрамын алуға әкелді. Алынған кремнийдің тазалығы шамамен 90% (мас.%) және 99,5% (мас.%) құрады. Осы жұмыста сипатталған әдісті қолдану арқылы жоғары тазалықтағы наносиликат ұнтағын сәтті синтездеуге болады. Алынған кремний оксиді өте аморфты. Рентгенограмма үлгісі кварцтың іздерін ғана көрсетеді (кремнийдің кристалды формасы).

Кремний диоксиді бөлшектердің кішкентай мөлшерге ие, бұл оның резеңке және сия өндірістеріне қолдануға жарамды етеді. Кремнийдің мезопорлы құрылымы оны потенциалды каталитикалық (немесе катализатор тасымалдаушы) материал етеді.

### Әдебиеттер/ References

1 *Sommer, M., Kaczorek, D., Kuzyakov, Y., & Breuer, J.* Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 2006. V. 169 № 3. P. 310-329.

2 *Tomozawa, M., Kim, D. L., & Lou, V.* Preparation of high purity, low water content fused silica glass. *Journal of non-crystalline solidz.* 2001. V. 296. № (1-2). P. 102-106.

3 *Camargo, I. M. C., Saiki, M., Vasconcellos, M. B. A., & Avila, D. M.* Abrasiveness evaluation of silica and calcium carbonate used in the production of dentifrices. *Journal of cosmetic science.* 2001. V. 52 №3. P. 163-168.

4 *Feng, K., Li, M., Liu, W., Kashkooli, A. G., Xiao, X., Cai, M., & Chen, Z.* *Silicon-Based Anodes for Lithium-Ion Batteries: From Fundamentals to Practical Applications.* Small. 2018. V. 14. № 8. P. 1702737.

5 *Heywang, W., & Zaininger, K. H.* *Silicon: the semiconductor material.* In *Silicon* (pp. 25-42). Springer, Berlin, Heidelberg. 2004.

6 *Geetha, D., Ananthiand, A., & Ramesh, P. S.* Preparation and characterization of silica material from rice husk ash—an economically viable method. *Research & Reviews: Journal of Pure and Applied Physics.* 2016. V. 4. №3. P. 20-26.

7 Rice Knowledge Bank. (2016). Retrieved from <http://www>.

knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-husk.

8 Azat, S., Pavlenko, V.V., Kerimkulova, A.R., & Mansurov, Z.A. Synthesis and structure determination of carbonized nano mesoporous materials based on vegetable raw materials. In *Advanced Materials Research*. 2012. V. 535. PP. 1041-1045. Trans Tech Publications.

9 Kerimkulova, A.R., Azat, S., Mansurov, Z. A., Gilmanov, M.K., Ibragimova, S.A., Adekenov, S.M., & Rachimova, B.B. Mesoporous nano carbon sorbents for separating different biomolecules. In *Advanced Materials Research*. 2012. V. 535. PP. 284-288. Trans Tech Publications.

10 Food and Agriculture Organization Rice Market Monitor (FAO RMM). (2018). Retrieved from <http://www.fao.org/economic/RMM>.

11 Bakar, R.A., Yahya, R., & Gan, S.N. Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Procedia Chemistry*. 2016. V.19. PP. 189-195.

12 Azat, S., Korobeinyk, A. V., Moustakas, K., & Inglezakis, V. J. Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan. *Journal of Cleaner Production*. 2019. V. 2017. PP. 352.

13 Kongmanklang, C., & Rangswatananon, K. Hydrothermal synthesis of high crystalline silicalite from rice husk ash. *Journal of spectroscopy*, 2015.

14 Şimşek, Y. Preparation and Characterization of High Purity Silica Obtained from Rice Husks. *Acta Physica Polonica A*. 2017. V.132. № 3. PP.1002-1005.

15 Yunusa, S., Ahmed, A. S., Bawa, S. G., Iyun, J. F., & Dauda, M. Preparation of High Grade Silica from Rice Husk for Zeolite Synthesis. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2016. V.24. №1. PP. 41-45.

16 Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. An improved method for production of silica from rice hull ash. *Bioresource technology*. 2002. V. 85. №3. PP. 285-289.

17 Rambo, M.K., Cardoso, A.L., Bevilaqua, D.B., Rizzetti, T.M., Ramos, L.A., Korndorfer, G.H., & Martins, A.F. Silica from rice husk ash as an additive for rice plant. *Journal of Agronomy*. 2011. V.10. №3. PP.99-104.

18 Battezzore, D., Bocchini, S., Alongi, J., & Frache, A. Rice husk as bio-source of silica: preparation and characterization of PLA-silica bio-composites. *RSC Advances*. 2014. V.4. № 97. PP. 54703-54712.

19 Tyagi, V., Pandit, S., Sharma, A., & Gupta, R.K. Extraction and characterization of silica from rice husk for use in food industries. *Extraction*. 2017.

20 Moosa, A., & Saddam, B. Synthesis and Characterisation of Nano-silica from Rice-Husk with Applications to Polymer Composites. *American Journal of Materials Science*. 2017. V7. №6. PP. 223-231.

21 Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., & Kannan, N. High-purity nano silica powder from rice husk using a simple chemical method. *Journal of experimental nanoscience*. 2014. V.9. №3. PP. 272-281.

*T.M. Kazakbayeva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty c., Kazakhstan

## MAIN DIRECTIONS FOR RATIONAL USE OF WATER RESOURCES IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

---

---

**Abstract:** The article identifies the main directions of the rational use of water resources in the Republic of Kazakhstan, specifically, the South Kazakhstan region. Rational water use is the process of efficient use of water resources, which guarantees the preservation and protection of water bodies from negative and excessive anthropogenic impact and at the same time provides the population and sectors of the national economy with water resources of adequate quality and in the amount that can guarantee not only satisfaction of needs, but also development of industry, energy, water transport and agriculture at the rates that are necessary for sustainable socio-economic development of the Republic of Kazakhstan as a whole. The analysis of the foundations of rational water use was carried out; the main economic instruments affecting the process of water use in Kazakhstan are considered, an overview of the structure of water resources management in the South Kazakhstan region is made. Currently, it is necessary to ensure the rational use of natural resources, their protection from pollution and degradation, as well as skillfully restore, multiply and control them for the benefit of human society. Water resources as an object of management are a complex phenomenon and require a special approach for the formation of governing bodies with a clear division of their sphere of influence and responsibility.

**Key words:** water resources, water industry of the Republic of Kazakhstan, water capacity, hydraulic structures, state water resources management, water losses, rational water use, water saving, economic mechanism of rational water use.

• • •

**Түйіндеме:** Мақалада Қазақстан Республикасында, атап айтқанда Оңтүстік Қазақстан облысында су ресурстарын тиімді пайдаланудың негізгі бағыттары анықталған. Су ресурстарын тиімді пайдалану дегеніміз - бұл су объектілерін сақтау мен қорғауға кепілдік беретін, теріс және шамадан тыс антропогендік әсерден және сонымен бірге халық пен халық шаруашылығы салаларын тиісті деңгейдегі су ресурстарымен және қажеттіліктерді қанағаттандыруға ғана емес, тұтастай алғанда Қазақстан Республикасының тұрақты әлеуметтік-

экономикалық дамуы үшін қажетті қарқынмен өнеркәсіп, энергетика, су көлігі және ауыл шаруашылығы салалаларының да тұрақты дамуына да кепілдік бере алатын мөлшерде қамтамасыз ететін су ресурстарын ұтымды пайдалану процесі. Мақалада суды тиімді пайдалану негіздеріне талдау жүргізілді, Қазақстандағы суды пайдалану процесіне әсер ететін негізгі экономикалық құралдар қарастырылып, Оңтүстік Қазақстан облысының су ресурстарын басқару құрылымына шолу жасалды. Қазіргі уақытта табиғи ресурстарды тиімді пайдалануды, оларды ластану мен деградациядан қорғауды қамтамасыз ету, сондай-ақ оларды уақытылы қалпына келтіру, көбейту және адамзат қоғамының игілігі үшін бақылау қажет.

**Түйінді сөздер:** су ресурстары, Қазақстан Республикасының су шаруашылығы кешені, су сыйымдылығы, мемлекеттік су ресурстарын басқару, , суды тиімді пайдалану, су үнемдеу, су ресурстарын тиімді пайдаланудың экономикалық механизмі.

• • •

**Аннотация.** В статье выявлены основные направления рационального использования водных ресурсов в Республики Казахстан, в частности Южно-Казахстанской области. Рациональное водопользование – процесс эффективного использования водных ресурсов, гарантирующий сохранение и охрану водных объектов от негативного и избыточного антропогенного воздействия и при этом обеспечивающий население и отрасли народного хозяйства водными ресурсами надлежащего качества и в том количестве, которое способно гарантировать не только удовлетворение потребностей, но и развитие промышленности, энергетики, водного транспорта и сельского хозяйства теми темпами, которые необходимы для устойчивого социально-экономического развития Республики Казахстан в целом. Наличие достаточно большого количества проблем, присущих водопользованию Казахстана, свидетельствует о том, что процесс водопользования в стране не является рациональным. Проведен анализ основ рационального водопользования; рассмотрены основные экономические инструменты, влияющие на процесс водопользования в Казахстане, сделан обзор структуры управления водными ресурсами в Южно-Казахстанской области. В настоящее время необходимо обеспечить рациональное использование природных ресурсов, их защиту от загрязнения и деградации, а также умело их восстанавливать, умножать и контролировать для блага человеческого общества. Актуальность проблемы управления водопользованием определяется плачевным состоянием отрасли, причем неоднократные попытки решения отдельных проблем никак не изменили ситуацию в целом.

**Ключевые слова:** водные ресурсы, водохозяйственный комплекс Республики Казахстан, водоемкость, гидротехнические сооружения, государственное управление водными ресурсами, рациональное водопользование, экономический механизм рационального водопользования.



## Introduction

General formulation of the problem and its connection with important scientific and practical problems. Rational water use is a set of measures to reduce water consumption and improve the efficiency of wastewater treatment in order to save resources, protect nature and to increase economic efficiency in industry, housing and communal services and agriculture.

At one time I.A. Shiklomanov noted the fact that Central Asia has the greatest anthropogenic load on water resources in general. There is no similar natural and ecological region in the whole world as in Central Asia, where more than 75% of all water resources of the world are used. In this regard, there is a very deep lack of water resources in this region, which in turn reveals the need to change traditional methods of water use [1].

According to the Water Code of the Republic of Kazakhstan: "Water resources are the most important component of the natural environment, a limited, renewable and vulnerable natural resource, are protected and used on the territory of Kazakhstan as the basis for the life of peoples and ensure the ecological, social and economic well-being of the population, as well as the existence of flora and fauna. The classification of water resources is shown in Figure 1.

The main goals achieved by measures to rationalize water use:

1. Renewability. To ensure the availability of water resources for future generations, fresh water intake should not exceed the natural water replacement rate.

2. Conservation of energy. Water pumping, delivery and wastewater treatment activities consume significant amounts of energy. In some regions of the world, 15% of total energy consumption is spent on water management activities.

3. Preservation of natural habitat. Reducing human consumption of water helps to preserve the natural aquatic environment, which is important for local flora and fauna, and also increases the total water flow. It also reduces the need to build new dams and other facilities for water intake.

Water management measures include:

1. Any significant reduction in water loss, use or pollution, as well as preservation of the quality of water resources.

2. Reducing water use by introducing water conservation measures or increasing water use efficiency.

Implementation of water resource management systems that reduce or favor the reduction of excess water consumption.

**Research objects.** Kazakhstan is not rich in water resources, and they are not evenly distributed on its territory. There are over 85 thousand rivers and temporary reservoirs in the republic. (Periodically drying up rivers due to climatic conditions of the year). The main source of their filling is glaciers and snow. In total, there are 2,724 glaciers with a total glaciation area of about 2 thousand square km.

There are 48 thousand lakes in the republic, of which 45 are small, the area of which is less than 1 sq. km. The lakes are located unevenly on the territory: either they are hundreds of kilometers apart from each other, or they are located so densely that they form lake areas.

The renewable water resources of the basins usually consist of the runoff recorded in the outlet sections of the rivers, the inflow of water below these sections, as well as the runoff of unexplored rivers. Since in the lower reaches of rivers in lowland Kazakhstan, the runoff is usually scattered, sometimes even to the point of complete disappearance, when calculating the total water resources, data were used for the sections with the maximum runoff [2].

The most recent data on river flow in the Republic of Kazakhstan include the work carried out within the framework of the project "Rational use of water resources with an increase in the areas of regular and inundation irrigation in all water basins of the Republic of Kazakhstan until 2021". Where, on the scale of 8 water basins, both average water resources and resources in water-specific years were estimated (50, 75, 95% of availability). Studies have shown that the total resources of surface waters formed in Kazakhstan and coming from the territories of neighboring states are on average 122.0 km<sup>3</sup>. Water resources formed within Kazakhstan amount to 58.0 km<sup>3</sup>. The inflow from neighboring states is determined at 67.2 km<sup>3</sup>, including about 26 km<sup>3</sup> from China, 10.6 km<sup>3</sup> from Russia, 26.5 km<sup>3</sup> from Uzbekistan, and 4.1 km<sup>3</sup> from Kyrgyzstan. As a result, if in the 50s of the last millennium, the surface runoff resources of Kazakhstani rivers were estimated at 150 km<sup>3</sup> / year, in the 70s and 80s - at 115 ... 125 km<sup>3</sup> / year, then, as follows from the above data, they have decreased even more [3].

There are 150 wastewater receivers on the territory of the Republic of Kazakhstan. Including wastewater discharges to the terrain - 7, to filtration fields - 38, to storage ponds - 20, to ponds with evaporators - 18, and

to biological ponds - 7 and others. The category of discharged wastewater is mainly domestic, industrial, quarry, mine and mixed. Purification type: mechanical, natural and artificial biological [4].

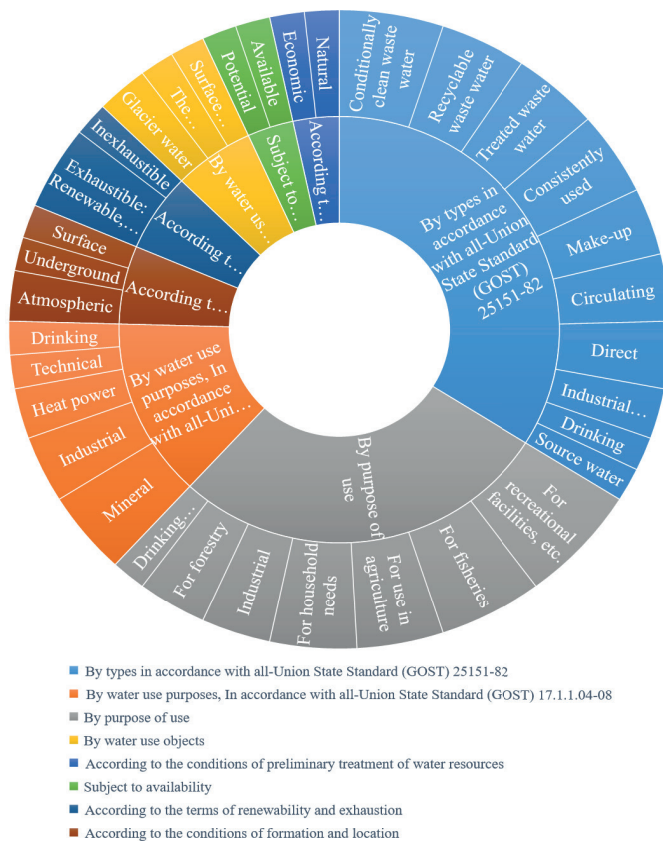


Figure 1 - Classification of water resources

More than 0.81 km<sup>3</sup> of wastewater is discharged into water bodies annually. Industrial enterprises are considered the main pollutants, they account for 63.1% of all wastewater, housing and utilities - 24.9% and agriculture - 11%.

The water management complex of the Republic of Kazakhstan has 44 thousand water facilities, which are distributed as follows (Fig. 2).

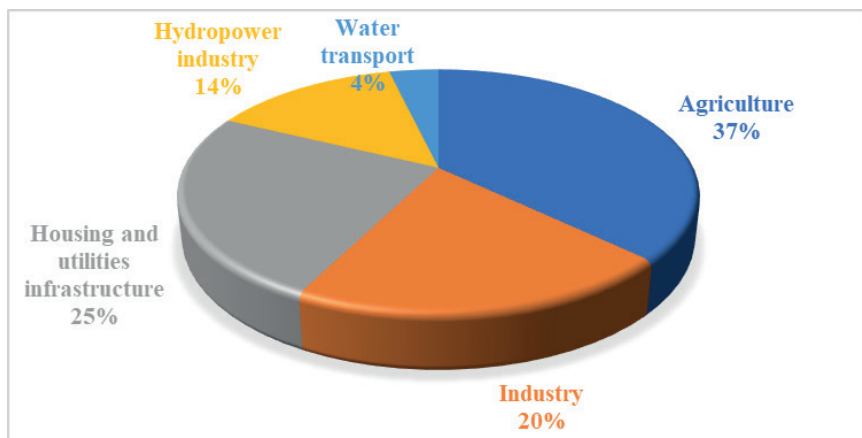


Figure 2 - Percentage ratio of the main water users of the Republic of Kazakhstan

The largest are complex hydroelectric complexes, which include 35 hydroelectric power plants with a total capacity of 2.7 thousand MW, theoretically, the capacity of all the country's hydro resources is 170 billion kWh per year, which is about 23% of the total capacity in the Republic of Kazakhstan as a whole.

**Research methods.** Such volumes of water resources and hydraulic structures complicate the process of their management, require a large amount of labor and financial resources, and give rise to problems that become an obstacle to ensuring rational water use.

The purpose of this work is to analyze the foundations of rational water use and the main economic instruments affecting the process of water use in Kazakhstan, as well as the structure of water resources management in the South Kazakhstan region.

In this work, the main methods of statistical analysis and comparison were applied. General summary and quantitative indicators were given for the main characteristics of river flow and water use. Also, analytical research methods have created a structure of units in the main field of study.

The main factors of irrational use of water resources include:

- deterioration and unsatisfactory technical condition of hydraulic structures and water supply and sewerage facilities;

- the use of outdated water-intensive production technologies;
- excessive pollution of water bodies, emergency discharges of polluted waters;
- high level of water losses during transportation;
- insufficient equipment of water intake facilities with metering systems;
- orientation towards extensive development, as well as neglect of water use efficiency issues;
- lack of a unified management system for the water management complex, lack of qualified personnel and, as a result, a large number of inadequate decisions in the field of water use;
- imperfection of the tariff policy, both in terms of water use and wastewater disposal, and in terms of penalties and preventive sanctions;
- the lack of effective economic mechanisms stimulating business to actively introduce progressive water-saving production technologies, systems of recirculating and re-sequential water supply and reducing unproductive water losses.

### Results and discussion

The economy of Kazakhstan uses more than 20-24.8 km<sup>3</sup> of water annually. The state of the water management complex of Kazakhstan and the presence of a number of major problems in water use indicate the need to take measures to rationalize it [5]. And although at the present time a complete solution of problems in the field of water use seems impossible, there are a number of directions that allow solving existing problems and smoothing out the contradictions that arise. The classification of the main directions of the rational use of water resources is presented in table 1.

**Table 1 - Classification of the main directions of rational use of water resources**

| Directions of rationalization of water use |   |
|--|---|
| Organizational                             | 1. Ensuring Integrated Water Resources Management   |
|  | 2. Basin principle application  |
|  | 3. Norm setting   |
|  | 4. Carrying out timely preventive and current repairs of hydraulic structures and pipelines |

|           |  |
|-----------|--|
| Economic  | 1. Promotion of rational water use   |
|           | 2. Application of penalties for irrational use of water resources  |
|           | 3. Improving the efficiency of tariff policy   |
|           | 4. Payment for all types of water use  |
| Legal     | 1. Restoration of water sources: cleaning of river beds and reservoirs; reducing the number of discharges of pollutants; restoration of sanitary zones |
|           | 2. Protection of water bodies  |
|           | 3. Creation of reserve sources of water supply: groundwater; precipitation; treated waste water  |
|           | 4. Introduction of water-saving technologies   |
|           | 5. Organization of water monitoring systems  |
|           | 6. Development of methods for predicting the qualitative and quantitative state of water resources   |
|           | 7. Improving the quality of hydro forecasts  |
| Technical | 1. Implementation of innovative technologies for water resources purification  |
|           | 2. Development of low water and ahydrous technologies  |
|           | 3. Development of machinery and equipment with less water loss   |
|           | 4. Creation of group systems of recycling water supply   |
|           | 5. Improvement of schemes and technologies for the use of water resources  |
|           | 6. Implementation of water pipe self-cleaning technologies   |

The water intensity of the country's gross domestic product significantly exceeds that of the economies of such developed countries as Germany, France, the USA and Canada. A high level of water capacity is characterized not only by the country's economy as a whole, but also by individual industries and agriculture.

Reducing water capacity is a prerequisite for the transition to rational water use.

It is necessary that at the “entrance” to the system, water resources are rationally used, and at the “exit” - the established standards for the negative impact of production factors on water bodies and product quality indicators are observed.

The presence of a large number of factors of irrational use of water resources and a high level of water capacity of the country lead to the need for measures to rationalize the process of water use as a whole [6-8]. The main strategic goal of state water management is to achieve and maintain an economically efficient and environmentally safe level of water use. Achievement of the dialectical unity of “economically efficient and environmentally safe level of water use” is defined by us as “sustainable water use”, which is characterized:

- balanced satisfaction of the needs of economic development and ensuring the reproduction of water resources;

- balancing the implementation of the rights of present and future generations to use economically efficient and environmentally safe water resource potential.

To achieve this goal in conditions of limited economic opportunities, both for water users and the state, when determining the main directions for the effective development of water management, it is necessary to proceed from the principle of ergonomizing decisions made (minimizing costs in water use and choosing environmentally effective solutions that have at the same time a positive economic effect).

One of the most topical and innovative ways to solve the problems of rational water use is virtual water. The concept of the 21st century, which has been widely studied in the scientific community in recent years. According to the research of Christian Opp, [9, 14,16] the relevance of this topic dates back to 1998, when the world community raised the alarm about the irrational use and lack of fresh water. Since then, there has been a lot of research on this topic, and now in the “Age of Water”, it is relevant for every person.

Research into virtual water and the water footprint has attracted the attention of many scientists from different angles. Scientists from China, the Netherlands, USA, Germany, Sweden and Great Britain can be considered the leaders of research, who in turn have introduced many new concepts. In theory, the studies pay more attention

to the countries of the Middle East, Central Asia and Africa, which are currently considered the driest regions with water deficiency.

The range of implementation of related water protection tasks should be limited to the most urgent and socially significant ones, as well as those implemented by the state within the framework of state and regional programs for the protection and restoration of water resources and water users at the expense of their own profits in the framework of economic activities in accordance with the current legislation .

Most of the water used in the region is taken from the two main rivers, the Syr Darya and the Amu Darya, which form in the Pamir and Tien Shan mountains. The Syr Darya flows from Kyrgyzstan through Tajikistan to Uzbekistan (including through the densely populated Fergana Valley) and Kazakhstan, the Amu Darya - from Tajikistan to Uzbekistan and Turkmenistan. The water resources of the Syr Darya, the average annual flow of which is 37 km<sup>3</sup>, are distributed as follows: 74% falls on Kyrgyzstan, 14% on Uzbekistan, 9% on Kazakhstan and 3% on Tajikistan. More than 80% of the Amu Darya runoff, the average long-term runoff of which is 78 km<sup>3</sup>, is formed in Tajikistan, 6% in Uzbekistan, 2.4% in Kyrgyzstan, 3.5% in Turkmenistan (with Iran) and 7.9% in Afghanistan [10, 15].

Water bodies on the territory of the South Kazakhstan region (hereinafter - water bodies) are represented by the main reservoirs, the Syrdariya and Amudaria rivers and their tributaries, natural and artificial reservoirs, rivers, lakes, ponds and swamps.

The modern structure of water management in Kazakhstan and on the territory of the South Kazakhstan region, the main direction of water use in the lower reaches of the Syr Darya is agriculture, mainly regular irrigation. The main water users: the North Aral Sea and the Saryshyganak Bay, the Syrdarya river delta, ecosystems on the Syrdarya river section from the Shardara reservoir to the city of Kazalinsk [10].

The developed joint operating mode of the Shardara reservoir and the Koksaray counter-regulator, as well as the reconstruction of irrigation networks with an increase in the efficiency, allow achieving sufficient water content in the planned irrigated areas for the entire period. The reserve for growing fodder is the Koksarai counter-regulator operating in the mode of deep-water estuaries, which will compensate for the shortage of products associated with the exclusion of flooded hayfields in very dry years (95% supply). The requirements of other sectors of the economy are small compared to the requirements of regular irrigation and are constantly met.

As a rule, programs for the protection and rational use of water are



initiated at the local level, either by local municipal authorities or regional structures.

The modern structure of water management in the Republic of Kazakhstan on the territory of the South Kazakhstan region is shown in Figure 3.

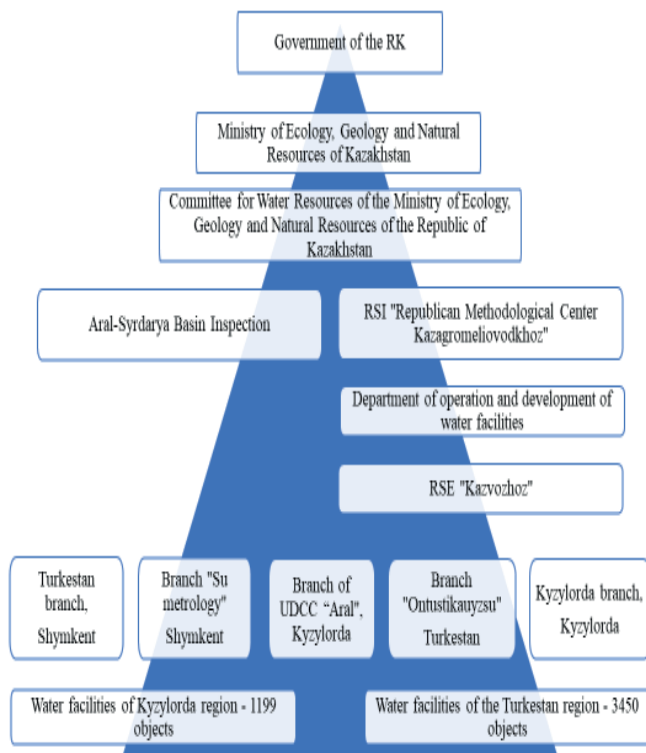


Figure 3 - The structure of water resources management of the Republic of Kazakhstan on the territory of the South Kazakhstan region

By the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated June 17, 2019 No. 17 “On measures to further improve the system of public administration of the Republic of Kazakhstan”, the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan was created with the transfer of functions from the Ministry of Agriculture of the

Republic of Kazakhstan in the field of use and protection of the water fund, water supply, sewerage, forestry. Thus, the quality and quantity of water resources are the main development criteria for any state, on which the health and well-being of citizens of the republic directly depends [8-11].

The concept of the new State Program for Water Resources Management of the Republic of Kazakhstan was developed in accordance with the Water Code of the Republic of Kazakhstan and the Protocol of the Security Council meeting dated June 26, 2019 “On ensuring water security”.

In this regard, the main goal of the Concept is to determine the main ways to solve the problems of conservation and rational use of the country’s water resources, to ensure the balance of socio-economic development and the possibility of reproduction of water resources at the level of the requirements of the standard water quality - “sustainable water use”. The concept will serve as a basis for improving the legal framework, developing measures for the development of the water sector of the economy and state policy on water resources management and water use.

Thus, water resources are a factor of life and habitat, as well as the most important economic resource for all spheres of human economic activity. Currently, it is necessary to ensure the rational use of natural resources, their protection from pollution and degradation, as well as skillfully restore, multiply and control them for the benefit of human society.

## **Conclusions**

1. The urgency of the problem of water management is determined by the deplorable state of the industry, and repeated attempts to solve separate issues did not change the situation as a whole.

2. There is a need for a transition to modern methods of management, active involvement of the experience of developed countries. For the most efficient use of water resources and sustainable economic growth, a coordinated development of economic sectors is required, taking into account the limited water resources and variability of surface and ground waters within river basins and the permissible environmental load on water bodies.

3. In connection with the uneven territorial distribution of water resources, it is advisable to allocate areas for the development of water-intensive industries, increasing the development of hydropower potential, the development of irrigated agriculture, fisheries, etc.

4. Water resources as an object of management are a complex phenomenon and require a special approach for the formation of governing bodies with a clear division of their sphere of influence and responsibility. The main drawback of the existing management system is its excessive centralization.

5. The issues of improving the economic mechanism for stimulating rational water use in the South Kazakhstan region, in particular, increasing the functional effectiveness of the restrictive and incentive tools of this mechanism, remain insufficiently studied. Also, the interaction of elements of the economic mechanism has been little studied.

### References

1 *Shiklomanov I.A.* Mirovyye vodnyye resursy // Priroda i resursy. - 1991. TS T.27. - No 1-2: S. 81-91.

2 *Petrakov I.A., Kenshimov A.K.* Prakticheskoye rukovodstvo po primeneniyu statey Vodnogo kodeksa Respubliki Kazakhstan. Tom 1. Obshchaya chast'. - Almaty: OO «OST-XXI vek», 2012; -336 s.

3 *Alimkulov S.K., Tursunova A.A., Davletgaliyev S.K.* Resursy rechnogo stoka Kazakhstana // Gidrometeorologiya i ekologiya. - 2018. - S 80-94.

4 *Mukhatchina F.* Sostoyaniye vodootvedeniya po Respubliki Kazakhstan // Ministerstva okhrany okruzhayushchey sredy. Astana. - 2005. - 10 s.

5 *Kenshimov A.K., Ibatullin S.R.* Problemy ispol'zovaniya vodnykh resursov v Respublike Kazakhstan // Vodnoye khozyaystvo Kazakhstan, -2005: - S 23-30.

6 *Medeu A.R., Mal'kovskiy I.M., Tolebayeva L.S.* Vodnaya bezopasnost' Respubliki Kazakhstan: problemy i resheniya // Voprosy geografii i geokologii. № 4. - 2012: - S 7-17.

7 *Medeu A.R., Mal'kovskiy I.M., Toleubayeva L.S.* Vodnyye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravleniye (kontseptsiya). - Almaty. - 2012. - 94 s.

8 Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 17 iyunya 2019 goda № 24 «O merakh po dal'neyshemu sovershenstvovaniyu sistemy gosudarstvennogo upravleniya Respubliki Kazakhstan»

9 *Christian O.* Probleme des Wasserangebots und der Wassernutzung im 21. Jahrhundert. Article in Marburger geographische Schriften March - 2004. - S 6-21.

10 *Zhil'tsov S.S.* Transgranichnyye vodnyye resursy Tsentral'noy Azii: ekologicheskiy aspekt. Materialy III mezhdunarodnoy nauchnoy

konferentsii ekologicheskkiye i prirodookhrannyye problemy sovremenogo obshchestva i puti ikh resheniya. Moskva: Izdatel'stvo: Moskovskiy universitet im. S.YU. Vitte, - 2017. - S 19-28.

11 *Dolzhenko V.A.* Basseynovyy podkhod kak osobennost' upravleniya v oblasti ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'yektov. Tambov: Gramota, 2011. № 8 (14): v 4-kh ch. CH. I. C. 81-83. ISSN 1997, -292 s.

12 *Blyashko YA.I.* Opyt i perspektivy realizatsii proyektov v oblasti maloy gidroenergetiki v SNG. ZAO «MNTO INSET». Data obrashcheniya 7 aprelya 2020.

13 *Satenbayev Ye.N., Ibatullin S.R., Balgabayev N.N.* Vodopotrebleniye otrasley ekonomiki Kazakhstana: otsenka i prognoz. – Almaty. – 2012. - S 262.

14 *Weijing Ma, Christian O., and Dewei Y.P., Present, and Future of Virtual Water and Water Footprint // Water 2020, 12, 3068; doi:10.3390/w12113068*

15 *Howells M., Hermann S., Welsch M., Bazilian M., Segerström R., Alfstad T., Gielen, D., Rogner H., Fischer G.* Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies // Nat. Clim. Chang. – 2013. – S 621–626.

16 *Graham N.T., Hejazi M.I., Kim S.H.,* Future changes in the trading of virtual water // Nat. Commun. – 2020. – S 32-36.

### **Сведения об авторах**

**Т.М. Kazakbayeva**, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan  
e-mail: t.kazakhbaeva@mail.ru

Регистрационное свидетельство  
№ 7528-Ж от 01.08.2006 г.  
выдано Министерством культуры и информации  
Республики Казахстан

Главный редактор *М.Т. Велямов*  
Редактор *Л.Н. Гребцова*  
Ответственный секретарь *М.Д. Рублева*  
Обложка *Е.С. Кадырова, Л.Н. Гребцовой*  
Редактор текста на казахском языке *Т.Т. Садырова*

Подписано в печать 15.03.2024.  
Формат 60x84/16. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Усл. п. л. 6,0. Тираж 350 экз. Заказ 160.

---

Редакционно-издательский отдел НЦ ГНТЭ.  
050026, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 221

---