

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 2 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных  
систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/ZSHT7059>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Талипов О. М.,

*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора  
Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*  
Сағындық Ә. Б. *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров +А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцен;</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.	<i>технический редактор</i>

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

**МАЗМУНЫ  
СОДЕРЖАНИЕ  
CONTENTS**

<b><i>Алибеккызы К., Керибаева Т. Б., Сейфула, Г. Н., Рысбекова А. А., Әбдіматова Т. Д.</i></b>	
Ұшқышсыз ұшатын көлік құралдарына арналған техникалық қызмет көрсету және жөндеу моделін талдау.....	6
<b><i>Anarbekova G. A., Akanova A. S., Ospanova N. N., Kaldarov Zh. A., Sharipova S. Ye.</i></b>	
Designing a conceptual model of an analytical system that automates the forecasting process in agriculture .....	19
<b><i>Ануарбеков М. А., Яманбекова К.</i></b>	
Результаты моделирования аэродинамического сечения стабилизатора горелочного устройства с целью определения оптимальных параметров.....	33
<b><i>Аскарова А. С., Болегенова С. А., Максимов В. Ю., Медетұлы Е.</i></b>	
Жел турбинысы арқылы өтетін турбулентті тұрақсыз ағынды 3D модельдеу.....	47
<b><i>Баймаханова З. А., А. Б. Тлегенов, Айтуғанова А. М., Балходжаева Г. Р., Жансерікқызы А.</i></b>	
Ауыз су мен ағынды суларды тазартуға арналған озон технологиясының процестері мен аппараттары .....	64
<b><i>Рахадиллов Б. К., Даутбеков М. К., Журерова Л. Г., Самбаева З. А. Магазов Н. М.</i></b>	
Повышение эксплуатационных свойств деталей энергетического оборудования работающих в нагруженном состоянии .....	79
<b><i>Даутова А. З., Найманова Д. С., Дюсенгазина Н. Н. Майдисарова А. Т.</i></b>	
Энергетикалық есептерді шешу үшін математикалық әдістерді қолдану .....	94
<b><i>Zhalmagambetova U., Radelyuk I., Krykbayeva M., Biloshchytska S., Kirichenko L.</i></b>	
Development of an automatic monitoring system based on the open architecture concept.....	112
<b><i>Кәкімжанов Д. Н., Колисниченко О. В., Рахадиллов Б. К., Кусайное А. Е.</i></b>	
Эвтектикалық қорытпадан жасалған қорғаныс жабындарын импульстік-плазмалық өңдеу.....	126

**Калтаев А. Г.**

Устройство защиты электродвигателя от витковых замыканий ..... 143

**Карымсакова И. Б., Бекенова Б. Д., Оспанов Е. А.,****Курмангалиева Н. К., Калиева А. К.**

Roboguide v 9.40 бағдарламасында fanuc Ir mate 200id роботымен  
импланттар бетін микроплазмалық бүркеуді модельдеу ..... 153

**Киршенман А. А., Каверин В. В.**

Исследование и разработка первичного преобразователя энергии короны  
высоковольтных воздушных линий электропередач ..... 170

**Колесников Е. Н., Новожилов Т. А., Исенов Ж. С., Талипов О. М.**

Устройство защиты трехфазного трехобмоточного трансформатора на  
двух магнитных трансформаторах тока..... 184

**Коломыцева И. А., Котов Е. С.**

Прогнозирование электропотребления насосной  
станции с использованием регрессионного анализа..... 198

**Машрапов Б. Е., Клецель М. Я., Машрапова Р. М.**

Кері тізбектегі токтарды бақылаумен тоқтық  
қорғанысқа арналған өлшеу органы..... 213

**Markovskiy V. P., Pushkaryov S. D., Ogarkova A. I., Utegulov A. B.,****Koshkin I. V.**

Development of a conjugate analysis method for  
the effective use of heat pumps in the climatic conditions  
of kostanay region..... 225

**Мерғалимова А. К., Атықшева А. В., Айтмағамбетова М. Б.,****Сейтжаппаров К., Жолдыбаева А. Н.**

К вопросу разработки чистой угольной технологии  
получения топливных газов и их дальнейшего сжижения..... 243

**Мехтиев А. Д., Герасименко Т. С., Сарсикеев Е. Ж., Алькина А. Д.**

Оценка влияния омагниченной воды на всхожесть  
и рост рассады томата..... 257

**Новожилов А.Н., Имангазинова Д. К.**

Методы поиска поврежденной секции в трёхфазных обмотках ..... 271

**Онгар Б., Бекболатова Ж. К., Қарасаева Ә. Р., Турганбаев М. А.,****Сеитбек Е. Е.**

Үш деңгейлі кернеу түрлендіргішінің математикалық моделі ..... 286

**Приходько Е. В. Никифоров А. С., Арипова Н. М., Кинжибекова А. К.,****Карманов А. Е.**

Оценка влияния изменения температуры на теплофизические  
свойства огнеупоров ..... 299

<b>Расмухаметова А. С., Олжабаева К. С., Абжекеева А. З., Есет Г. М., Харченко С. П.</b>	
Ауаны желдету мен энергоқамтудың аккумуляциялық гелио жүйесі .....	312
<b>Рахимбердинова Д. М., Тюлюгенова Л. Б., Азаматов М. Т., Есмаханова Л. Н.</b>	
Интеграция в общезаводскую сеть защиты электрооборудования рудотермического производства на двух мтт от электрических повреждений .....	325
<b>Рустамов Н. Т., Бергузинов А. Н., Меирбекова О. Д. Тулебаева Г. А.</b>	
Математическая модель основанная на передаточной функции системы распределенной генерации .....	340
<b>Рындин В. В., Омарбекова И. К.</b>	
Автоматизированный расчёт режима работы компрессорной станции в пакете Mathcad.....	357
<b>Сыдыкова Г. К., Жүнісов Ж.Т., Құлтан И. Б.</b>	
Сумен қамтамасыз ету жүйесінде күн түрлендіргіштерін қолдану .....	374
<b>Тұрдыбек Б., Сериков Т. Г., Касым Р. Т., Өжікенов Қ. Ә. Тленшиева А. А.</b>	
Портативті экг-нің интерфейстері арасында оңтайландырылған гибриді фразкталдық антеннамен сымсыз байланыс орнату .....	389
<b>Faurat A. A., Toktarbekova A. B.</b>	
Assessment of the influence of industry on pollution of snow and soil with heavy metals in Pavlodar .....	404
<b>Шоланов К. С., Токишева Г.С., Омаров А. С., Кашкимбаева Н. М. Исаева Ж.Р.</b>	
Формирование данных для проектирования парусных ветровых электростанций .....	421
Авторлар туралы ақпарат	
Сведения об авторах	
Information about the authors .....	434
Авторларға арналған ережелер	
Правила для авторов	
Rules for authors .....	469
Жарияланым этикасы	
Публикационная этика	
Publication ethics .....	483

FTAMP 50.05, 50.41

<https://doi.org/10.48081/VVRY9757>

**\*К. Алибеккызы<sup>1</sup>, Т. Б. Керибаева<sup>2</sup>, Г. Н. Сейфула<sup>2</sup>,  
А. А. Рысбекова<sup>2</sup>, Т. Д. Әбдіматова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

<sup>2</sup>Азаматтық Авиация Академиясы,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

\*e-mail: [karlygash.eleusizova@mail.ru](mailto:karlygash.eleusizova@mail.ru)

## **ҰШҚЫШСЫЗ ҰШАТЫН КӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫНА АРНАЛҒАН ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖӘНЕ ЖӨНДЕУ МОДЕЛІН ТАЛДАУ**

Мақалада қателіктерді зерттейтін әдістерді қолдану арқылы мүмкін болмайтын және ұзақ уақыт бойы тәжірибеден өткен тәжірибенің болмысына негізделген жөндеу жүйелерін сапалы түрде дамыту қарастырылған. Осы жұмыста маңызды жобалық шешімдерді қабылдауда жаңа проблемалық жағдайларды үлгілеу өткелдері өте қажет және үнемді болатынын қарастырған.

Техникалық қызмет көрсету және жөндеу процесін үлгілеу жүйенің мақсаты ретінде анықтаудан басталады. Мақсаттар жергілікті болуы үшін тек берілген жабдықтың жөндеу үрдісінің сапасын басқарудың бүкіл процесін қарастырған. Бұл мақсатқа жетудің ең өнімді тәсілі, жұмыстың бірінші бөлімінде өнімнің өмірлік циклі тұрғысынан көзқарасты талдауы қарастырылған.

Алға қойылған мақсатты анықтағаннан кейін жүйенің тиімділік критерийлерін анықтау қажет болады. Үлгілеу өнімділіктің көрсетілген критерийлеріне сәйкес өнімге техникалық қызмет көрсету мен жөндеуін ұйымдастырады. Зерттелетін процестерді үлгілеудің ең қолайлы әдісі имитациялық үлгілеу болып табылады.

Өнімнің мақсатын орындау барысында қамтамасыз етуден тұратын өнімді тиімді пайдалану оның барлық кезеңдерінде өнімнің өмірлік циклі процестерін басқару сапасымен анықталатыны зерттелген.

*Компьютерлік эксперимент нәтижелерінен ұшқышсыз ұшатын аппараттарға техникалық қызмет көрсетуді ұйымдастырудың ең ұтымды стратегиясы аймақтық мамандандырылған орталықты құруы қарастырылған.*

*Кілтті сөздер: процесс, модель, ықтималдық, имитация, стандарт, белгісіздік.*

## **Кіріспе**

Ұшқышсыз ұшатын аппараттарға ТҚК және жөндеу экономикалық бағалауға негізделген келесі стратегиялар бойынша жүзеге асырылуы мүмкін:

- кәсіпорын мамандары, арнайы үшінші тарап ұйымдары келісім-шарт негізінде;

- арнайы аймақтық орталық құру.

Компьютерлік эксперименттің нәтижелерінен ұшқышсыз ұшатын аппараттарға ТҚК ұйымдастырудың ең ұтымды стратегиясы аймақтық мамандандырылған орталықты құру болып табылады.

Өнімнің циклін зерттеу кезеңдерінде техникалық қамтамасыз ету тұжырымдамасы мен идеологиясы болады. Осы циклдің барлық қатысушылары үшін ақпараттық өзара әрекеттесудің біркелкі әдістерін қамтамасыз етеді [1;3].

Үлгілеу барасында ТҚК және шығындарды азайту барысында белгілі бір техникалық қызмет көрсету және жөндеу нысанының тұрақтылығын қалыпты ұстауға мүмкіндік береді. ТҚК мен жөндеуді жеңілдету үрдісі жабдықты сатып алудан бастап және стандартты қызмет ету мерзімі өткеннен кейін есептен шығаруға дейін ұйымдастыруын белгілейді [4;5].

### **Материалдар мен тәсілдер**

Үлгілеу ТҚК және жөндеу стратегияларының нұсқалық талдауы болып табылады [6; 8]. Ұсынылған тәсіл үш стратегияны қарастырады.

1 Белгілі ұйымдармен келісім-шарт негізінде жасалған кезде; әрі шарт белгілі бір мерзімге жасалады.

2 ҰҰА арналған құрылым жабдықтар шығынының талап ететін кәсіпорын ішінде ТҚК мен жөндеуді ұйымдастыру.

3 ҰҰА арналған ТҚК және жөндеу бойынша аймақтық компанияны ұйымдастыру [9;10].

Жалпы алғанда, стратегияны таңдау үшін шешім арқылы келесі өрнекпен көрсетуге болады:

$$C_i(T) < C_g, \quad (1)$$

$C_i(T)$  – штаттық бірлікпен қызмет көрсету және жөндеу шығындары;

$C_g$  – дәл осындай мақсаттарға арналған шығындар үшінші тарап ұйымымен келісім-шарт негізінде жүзеге асырылады.

Үшінші жол бойынша жабдыққа қызмет көрсету шартының сомасын толық жұмыс істейтін бөлімшенің ТҚК және жөндеу шығындарымен салыстыру арқылы шығындары төмен нұсқа есептелінеді. Егер берілген теңсіздік (1) дұрыс болса, онда келісім-шарт опциясы үйдегі ТҚК мен жөндеуге қарағанда бағасы жоғары болады

Бұл берілген теңсіздікті іс тәжірибеге енгізудегі негізгі мәселесі болып келеді және шығындарды сандық бағалауға мүмкіндік беретін математикалық немесе басқа үлгілеу болып табылады.

Жалпы жабдықтың ТҚК бөлімінде жүргізілген бақылаулар барысында, барлық аралықтар үшін істен шығулар арасындағы уақыттың бөлінуі белгілі болды және қалыпты заңға қайшы келмейтіндігін көре аламыз.

Үлгілеу барысында әрбір период өзінің  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$ ,  $f_3(t)$  таралу параметрлерімен таралу заңын пайдаланады:

$t_{1op}$  – кепілдік жұмысының бірінші жылындағы ақаулар арасындағы орташа уақыт;

$t_{2op}$  – пайдаланудың екінші жылындағы ақаулар арасындағы орташа уақыт;

$t_{3op}$  – пайдаланудың үшінші жылындағы ақаулар арасындағы орташа уақыт.

$t_{9op}$  – пайдаланудың тоғызыншы жылындағы ақаулар арасындағы орташа орташа уақыт.

$\sigma_1$  – пайдаланудың бірінші жылындағы стандартты орын ауыстыруын бөлу;

$\sigma_2$  – пайдаланудың екінші жылындағы орын ауыстыруын бөлу;

$\sigma_3$  – пайдаланудың үшінші жылындағы орын ауыстыруын бөлу;

$\sigma_9$  – пайдаланудың 9 жылындағы орын бөлек жерге ауыстыруын бөлу.

Келесі 1–суретте келтірілгендей сенімділік көрсеткіштерінің баяу төмендеу тенденциясымен қалыпты жұмыстың ұзақ кезеңі жүреді.

Бұл процесте  $t_{ij}$  уақыты  $j$ -ші симуляцияланған циклдегі  $i$ -ші сәтсіздік арасындағы уақыты тексеріледі. Қайталау циклдерінің саны  $N$  компьютерге енгізіледі және статистикалық сенімді нәтижелерді алу үшін кемінде 10 000 болуы керек.





Сурет 1 – Үлгілеу процесі

### Нәтижелер мен зертеулер

Стандартты біркелкі бөлінген  $X_i$  саны жасалады және ол қай интервалға түсетініне байланысты жабдықтың сәйкес «жас» (интервалы) тобы қарастырады. Интервал мүшелігіне сәйкес осы аралыққа сәйкес таралу заңы қарастырылады және бірінші циклде  $t_{11}$  бірінші істен шығудың пайда болу уақыты жасалады. Содан кейін сәтсіздікті жою құны қалыптасады, өйткені құн да кездейсоқ шама болып табылады. Егер  $t_{11}$  бірінші жұмыс жылына бір рет қатысты болса, онда  $C_{11}$  бірінші жылдың шығындары ретінде көрсетіледі, онда екінші істен шығу уақыты  $t_{12}$  құрылады және  $C_{12}$  генерацияланады және  $t_{11}+t_{12}$  істен шығудың қай кезеңге жататындығы талданады, егер біріншіге болса, онда  $C_{11}+C_{12}$  бірінші жылдың шығындарына жатады, ал егер жоқ болса, онда екіншісіне, бірақ үшіншіге де солжолмен болуы әбден мүмкін.  $t_{11}+t_{12}+\dots+t_{1i}$  уақыты 10 жылдан еселеп асса, бірінші цикл үзіліп,  $t_{21}, t_{22}, t_{23}, \dots, t_{2i}$  тудыратын екінші цикл басталады.

$$\bar{C}_{1,2,3} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^K C_{ij}}{N}$$

$C_{1,2,3}$  келісім-шарт сомасымен салыстыра отырып, шешім қабылданады:

егер  $C_1 > CG$  – шартты бұзу;

егер  $C_2 < CG$  – шартты жалғастыру

Ұйымдық қызмет көрсету режимдерін онтайландырудың имитациялық моделі 2-суретте көрсетілген.

Үлгілеу моделі келесідей жұмыс істейді:

Ақаулар мен жөндеулердің саны  $K$   $K = 50$  тәртібі бойынша таңдалуы мүмкін. Мысалы 5-10 жыл жабдықтың түріне байланысты болса, ақаулар

саны бұл көрсеткіштен аспайды, ал «еліктеу» процесінде 3 жылдық кезеңмен шектелген нақты мән біркелкі болып табылады.

Бірінші  $t_{11}$  ақауының пайда болу уақыты бірінші циклде жасалады. Содан кейін сәтсіздікті жою құны қалыптасады, өйткені құн да кездейсоқ шама болып табылады. Егер  $t_{11}$  пайдаланудың бірінші жылына қатысты болса, онда  $C_{11}$  бірінші жылдың шығындары ретінде жинақталады, содан кейін екінші істен шығу уақыты  $t_{12}$  қайтадан құрылады және  $C_{12}$  қайтадан генерацияланады және істен шығу  $t_{11+}$  қай жылға тиесілі екендігі талданады.  $t_{12}$ , егер біріншіге болса, онда  $C_{11}+C_{12}$  бірінші жылдың шығындарына жатқызылады, ал егер жоқ болса, онда екінші, бірақ үшінші жыл болуы мүмкін.  $t_{11}+t_{12}+\dots+t_{1i}$  уақыты 3 жылдан асса, бірінші цикл үзіліп,  $t_{21}, t_{22}, t_{23}, \dots, t_{2i}$  тудыратын екінші цикл басталады. Циклды қайталау саны  $N$ .  $N$  қайталаудан кейін бірінші жылдағы сәтсіздіктерді жоюдың орташа құны (3) формула арқылы есептеледі.

Модельдеу алгоритмі келесідей жұмыс істейді.

1-блокта бастапқы модельдеу деректері енгізіледі.

2-блокта операциялық процестің қайталану циклдарының санын анықтайтын  $I$  айнымалысы арқылы цикл ашылады.

3-блокта бірінші циклдегі ақауларды генерациялау циклі ашылады.

4-блокта  $i$ -циклдегі  $j$ -ші сәтсіздік уақыты  $T_{ij}$  құрылады.

5-блокта нөлдік құнға түседі.

6-блокта циклдегі барысында жұмыс мезгілі  $T_{ij}$  қосындысы ретінде шығарылады.

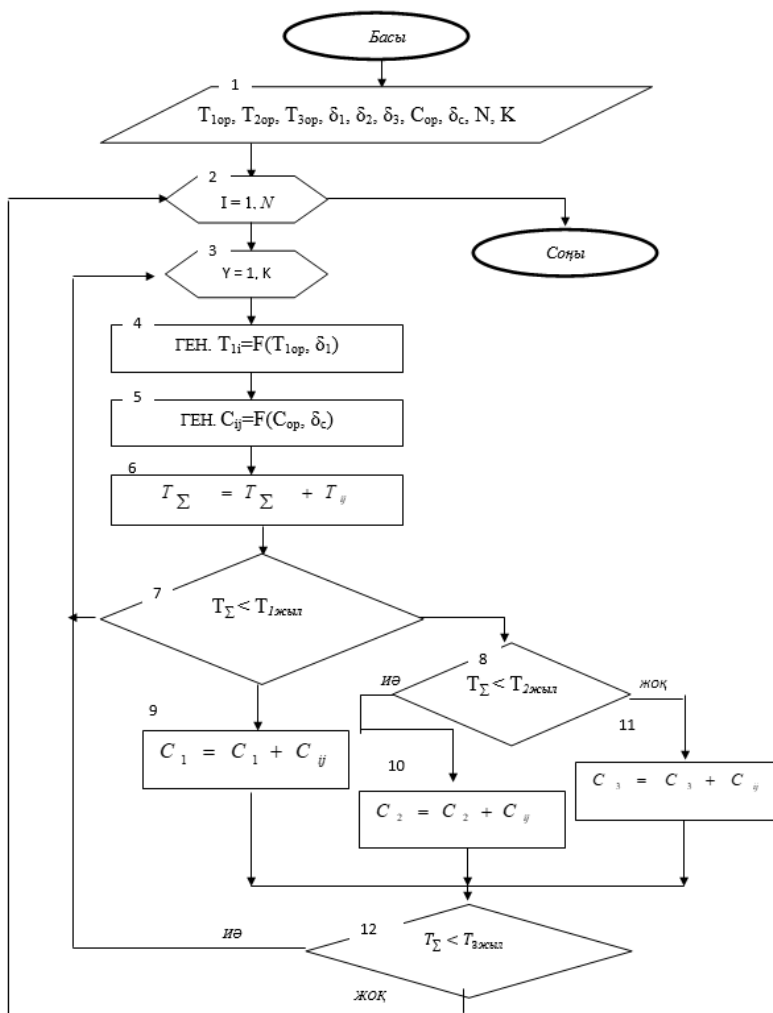
7,8 блоктарда ағымдағы істен шыққан  $T_{иж}$  қай жылы орналасқаны талданады.

9, 10, 11 блоктарда әр жыл бойынша жалпы шығындар жинақталады

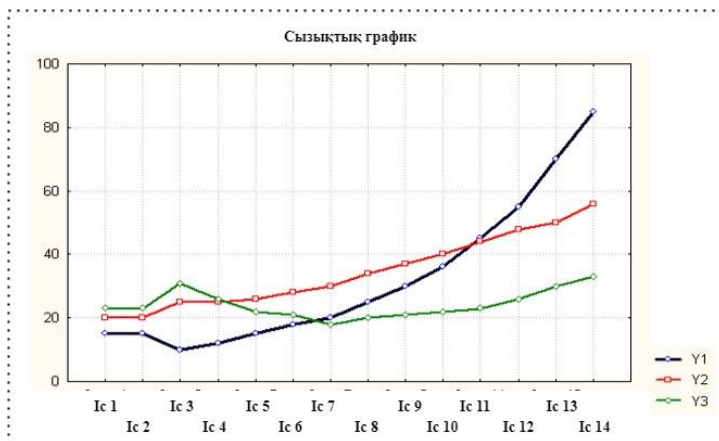
12-блокта ағымдағы жұмыс уақыты оның үш жылдық кезеңнен асып кеткенін білу үшін талданады.

$$T < T_{3\text{жыл}} \quad (3)$$

Үлгілеу нәтижелері 3-суретте графикалық түрде берілген.



Сурет 1 – Техникалық қызмет көрсету және жөндеу режимдеріне арналған үлгісі



Сурет 3 – ҰҰА арналған техникалық қызмет көрсету эксперимент нәтижелері

Көденең ось объектілердің жылдармен жұмыс істеу ұзақтығын көрсетеді. Тік ось – жалпы шығындар. Қызыл қисық үйдегі техникалық қызмет көрсету стратегиясын білдіреді. Қара қисық - үшінші тараптың мамандандырылған ұйымымен келісім-шарт негізінде объектілерге қызмет көрсету опциясы. Жасыл қисық аймақтық мамандандырылған орталықты құру нұсқасына сәйкес келеді.

### Қорытынды

Ұшқышсыз ұшатын аппараттарға техникалық қызмет көрсету және жөндеу экономикалық бағалауға негізделген келесі стратегиялар бойынша жүзеге асырылуы мүмкін: кәсіпорын мамандары, арнайы үшінші тарап ұйымдары келісім-шарт негізінде; арнайы аймақтық орталық құруы талқыланған.

Графикалық суретте жалпы экономикалық тенденцияны көрсетіліп, нарықтық жағдайда баға деректері айтарлықтай өзгеруі мүмкіндігі зерттелген. Ал операциялық шығындар әртүрлі уақыт кезеңдері бойынша төмендегені зерттелген. Осы стратегияның жалпы шығындары жабдықты сатып алу және физикалық немесе ескіру мерзімі аяқталғаннан кейін есептен шығару бойынша тендерлік рәсімдерден бастап процестің барлық операциялық шығындарын қамтитыны қарастылған.

### **Қаржыландыру туралы ақпарат**

Мақала Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2022-2024 жылдарға арналған «Жас Ғалым» жобасы бойынша докторантурадан кейінгі жас ғалымдардың іргелі және қолданбалы ғылыми зерттеулерін гранттық қаржыландыру жобасы аясында жүзеге асырылды. ЖРН: AP14972524 – «Ұшқышсыз көліктерді басқарудағы VLC технологияларын әзірлеу».

### **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

- 1 **Надлер, Д., Хибино, Ш.**, Мышление прорыва. / Д. Надлер, Ш. Хибино. // М.:ООО «Попури», 2017. – 496 с.
- 2 **Гермейер, Ю. Б.**, Введение в теорию исследований операций / Ю. Б. Гермейер. // М. : Наука, 2018. – 234 с.
- 3 Глоссарий Россия – США. Российско-американская межправительственная комиссия по экономическому и технологическому сотрудничеству. Комитет по здравоохранению-США, 2016. – 61 с. [Электронный ресурс]. – <https://cyberleninka.ru/article/n/dostupnost-i-kachestvo-meditinskoy-pomoschi-slagaemye-uspeha/viewer>
- 4 **Gorbunov, D. V., Nesterov, A. Yu.**, Technological future of Russia: the challenge of the «third nature». / D.V. Gorbunov, A.Yu. Nesterov // Vestnik of Samara University. Aerospace And Mechanical Engineering. – 16(4). – P. 6071 <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2017-16-4-60-71>. [In Russian].
- 5 **Ардашкин, И. Б.**, Смарт-общество как этап развития новых технологий для общества или как новый этап социального развития (прогресса): к постановке проблемы / И. Б. Ардашкин // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. – 2017. – № 38. – С. 32–45.
- 6 **Джиган, О. В.**, Философские аспекты использования сетевых технологий / О. В. Джиган // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2015. – № 1 (5). – С. 110–115.
- 7 Цифровая трансформация отраслей : стартовые условия и приоритеты : // Доклад к XXII Международной. научной конференции по проблемам развития экономики и общества / М., 2021 г – 235 с.

8 **Nikitina E. A.**, The problem of subjectivity in intellectual robotics. *Filosofskiye problemy informatsionnykh tekhnologiy i kiberprostranstva / Nikitina, E.A. // Philosophical problems of IT and Cyberspace.* – 2(12). – P 31–39. <https://doi.org/10.17726/philIT.2016.12.2.3>. [In Russian].

9 Отчет 2019 по «Целевая научно-техническая программа О.0782» по республиканской бюджетной программе. – 2017 «Развитие науки»

10 **Буянов, И. А., Исламов В. К.**, Автономная система ориентирования беспилотного летательного аппарата: состав и схема функционирования в формате 3D . / И.А.Буянов, В.К.Исламов// Молодой ученый. – 2018. – №1. – С. 10 – 16. [Электронный ресурс]– URL <https://moluch.ru/archive/187/47676/>

## REFERENCES

1 **Nadler, D., Hibino, Sh.**, Myshlenie proryva [Breakthrough Thinking] /D. Nadler, Sh. Hibino. // Moscow. : LLC «Poppourri», 2017. – P. 496

2 **Germejer, YU. B.**, Vvedenie v teoriyu issledovaniy operacij. [Introduction to Operations Research Theory] / YU. B.Germejer // Moscow. : Science, 2018. – P. 234

3 Glossarij Rossiya – SSHA. Rossijsko-amerikanskaya mezhpripravitel'stvennaya komissiya po ekonomicheskomu i tekhnologicheskomu sotrudnichestvu. [Glossary Russia - USA. Russian-American Intergovernmental Commission on Economic and Technological Cooperation] Komitet po zdavoohraneniyu-SSHA, 2016. – 61 p. [Electronic resource]. – <https://cyberleninka.ru/article/n/dostupnost-i-kachestvo-meditsinskoy-pomoschi-slagaemve-uspeha/viewer>

4 **Gorbunov, D. V. & Nesterov, A. Yu.**, Technological future of Russia : the challenge of the «third nature» [Technological future of Russia: the challenge of the «third nature»] / D.V. Gorbunov, A. Yu. Nesterov // Vestnik of Samara University. Aerospace And Mechanical Engineering. 16 (4). P. 6071. (In Russian). <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2017-16-4-60-71>[In Russian].

5 **Ardashkin, I. B.**, Smart-obshchestvo kak etap razvitiya novykh tekhnologij dlya obshchestva ili kak novyj etap social'nogo razvitiya (progressa): k postanovke problemy. [Smart society as a stage in the development of new technologies for society or as a new stage in social development (progress):

towards problem formulation] / I. B. Ardashkin // Bulletin of Tomsk State University. Philosophy. Sociology. Political science. 2017. № 38. – P. 32–45.

6 **Dzhigan, O. V.**, Filosofskie aspekty ispol'zovaniya setevykh tekhnologiy. [Philosophical aspects of using network technologies] / O.V. Dzhigan// Economic, social and humanitarian research. 2015. – № – 1 (5). – P. 110–115.

7 Cifrovaya transformatsiya otraslej : startovye usloviya i priority: // Doklad k XXII Mezhdunarodnoj. nauchnoj konferencii po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. [Digital transformation of industries: starting conditions and priorities : Report to the XXII International. scientific conference on problems of economic and social development]. / Moscow, 2021. – 235 p.

8 **Nikitina, E.A.**, The problem of subjectivity in intellectual robotics. Filosof-skiye prob-lemy informatsionnykh tekhnologiy i kiberprostranstva [The problem of subjectivity in intellectual robotics. Filosof-skiye prob-lemy informatsionnykh tekhnologiy i kiberprostranstva] / Nikitina, E.A. // Philosophical problems of IT and Cyberspace. 2 (12). – P. 31–39. (In Russian). <https://doi.org/10.17726/philIT.2016.12.2.3>. [In Russian].

9 Otchet 2019 po «Celevaya nauchno-tekhnicheskaya programma O.0782» po respublikanskoj byudzhetnoj programme [Report 2019 on «Targeted scientific and technical program O.0782» under the republican budget program] \ 2017 «Development of Science»

10 **Buyanov, I. A., Islamov, V. K.**, Avtonomnaya sistema orientirovaniya bespilotnogo letatel'nogo apparata : sostav i skhema funkcionirovaniya v формате 3D [Autonomous orientation system for an unmanned aerial vehicle: composition and operation diagram in 3D format] / I. A. Buyanov, V. K. Islamov// Youngscientist. – 2018. – №1. – P.10 – 16.– [Electronic resource]. – <https://moluch.ru/archive/187/47676/>

19.03.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\*К. Алибекқызы<sup>1</sup>, Т. Б. Керибаева<sup>2</sup>, Г. Н. Сейфула<sup>2</sup>, А. А. Рысбекова<sup>2</sup>,  
Г. Д. Әбдіматова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,  
Республика Казахстан, Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>Академия Гражданской Авиации, Республика Казахстан, г. Алматы  
Поступило в редакцию 19.03.24

Поступило с исправлениями 29.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **АНАЛИЗ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

*В статье рассматривается качественная разработка систем ремонта на основе многолетнего опыта, что невозможно с использованием методов исследования ошибок. В данной работе считалось, что переходы моделирования новых проблемных ситуаций весьма необходимы и экономичны при принятии важных проектных решений.*

*Моделирование процесса обслуживания и ремонта начинается с определения системы как цели. Задачи заключались в том, чтобы считать весь процесс управления качеством процесса ремонта данного оборудования только локальным. Наиболее продуктивным способом достижения этой цели является первая часть работы, предполагающая анализ перспективы с точки зрения жизненного цикла продукта.*

*После определения поставленной цели необходимо определить критерии эффективности системы. Моделирование организует обслуживание и ремонт изделия в соответствии с заданными критериями производительности. Наиболее подходящим методом моделирования изучаемых процессов является имитационное моделирование.*

*Изучено, что эффективное использование продукции, заключающееся в обеспечении выполнения назначения продукции, определяется качеством управления процессами жизненного цикла продукции на всех его стадиях.*



*По результатам компьютерного эксперимента наиболее рациональной стратегией организации технического обслуживания беспилотных летательных аппаратов считается создание регионального специализированного центра.*

*Ключевые слова: процесс, модель, вероятность, симуляция, стандарт, неопределенность.*

*K. Alibekkyzy<sup>1</sup>, T. Keribayeva<sup>2</sup>, G. Seifula<sup>2</sup>, A. Rysbekova<sup>2</sup>, T. Abdimatova<sup>2</sup>.*

*<sup>1</sup>D. Serikbayeva, East Kazakhstan Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;*

*<sup>2</sup>Academy of Civil Aviation, Republic of Kazakhstan, Almaty*

*Received 19.03.24.*

*Received in revised form 29.04.24.*

*Accepted for publication 02.06.24.*

## **ANALYSIS OF THE MODEL OF MAINTENANCE AND REPAIR OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES**

*The article discusses the high-quality development of repair systems based on many years of experience, which is impossible using error research methods. In this work, it was believed that transitions in modeling new problem situations are very necessary and economical when making important design decisions.*

*Modeling the maintenance and repair process begins with defining the system as a goal. The objectives were to consider the entire quality management process for the repair process of this equipment to be local only. The most productive way to achieve this goal is the first part of the work, which involves analyzing the perspective from the point of view of the product life cycle.*

*After determining the goal, it is necessary to determine the criteria for the effectiveness of the system. Simulation organizes maintenance and repair of a product in accordance with specified performance criteria. The most suitable method for modeling the processes under study is simulation.*

*It has been studied that the effective use of products, which consists in ensuring the fulfillment of the product's intended purpose, is determined by the quality of process management of the product life cycle at all its stages.*

*Based on the results of a computer experiment, the most rational strategy for organizing the maintenance of unmanned aerial vehicles is considered to be the creation of a regional specialized center.*

*Keywords: process, model, probability, simulation, standard, uncertainty.*

SRSTI28.23.37

<https://doi.org/10.48081/AWCFE4037>

**G. A. Anarbekova<sup>1</sup>, \*A. S. Akanova<sup>1</sup>, N. N. Ospanova<sup>2</sup>,  
M. Zh. Kaldarova<sup>3</sup>, S. Ye. Sharipova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Republic of Kazakhstan, Astana*

<sup>2</sup>*Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;*

<sup>3</sup>*Astana International University, Republic of Kazakhstan, Astana;*

<sup>4</sup>*Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana*

\*e-mail: [akerkegansai@mail.ru](mailto:akerkegansai@mail.ru)

## **DESIGNING A CONCEPTUAL MODEL OF AN ANALYTICAL SYSTEM THAT AUTOMATES THE FORECASTING PROCESS IN AGRICULTURE**

*The study of the subject area and the creation of a conceptual model are important steps in the development of any system, as they help to determine the requirements, functionality and structure of the system, as well as establish a common vision of the project before its implementation. Automation of agriculture requires the development of analytical systems to predict the growth of pest populations, which in turn involves the study of the subject area and the presentation of a conceptual model for the analytical system. The solution to this problem will help automate the work of scientists in the field of agriculture in calculating and predicting the growth of the number of pests of grain crops.*

*The review of existing conceptual models in various fields of activity, especially in the agricultural sector, is carried out. System requirements have been put forward to ensure high efficiency and reliability of the system.*

*Keywords: conceptual model, analytical system, forecasting, agriculture, pests, bread striped flea.*

## **Introduction**

In the era of intensive development of IT technology, much attention is paid to the development and design of systems that ensure consistency in the sequence of technology applications. The main component of system design is system modeling. Modeling helps to create an abstract representation of the system, including its components, relationships, and processes. Modeling also helps to avoid mistakes at an early stage of development. Creating a model allows you to better organize the development process, determine the sequence of work and manage resources more efficiently. System modeling includes a conceptual, logical, and physical model of the system. The conceptual model should illustrate the most important concepts of the problem area and demonstrate the relevant aspects [1, P. 1–14].

All systems, when studying the subject area and for a full understanding of it, need to design a conceptual model, the diversity of areas, including the ecosystem, covering this process is shown by the work of scientists, including systems such as flood damage assessments in large cities using representative factors such as rainfall intensity and the intensity of natural disasters floods [2, P. 1-11], a mangrove ecosystem degradation system for remote sensing, where the gap between satellite-derived variables and ecosystem degradation is eliminated through clear ecological linkages [3, P. 1–19]. The conceptual model was created for the system of determining the mathematical dependence of the groundwater flow in the lake, as well as the interaction of surface and groundwater [4, P. 1–12]. A conceptual model has also been proposed, which highlights important independent and dependent variables for groundwater quality management in northern Iran. The conceptual model of the groundwater quality determination system shows the interaction of ten factors (types of land use, lithological units, geological units, distance from wells to outlet, distance to residential areas, direction to residential areas, depth of groundwater, type of aquifer, transmission coefficient and population) [5, P. 1–13].

In addition, scientists have proposed a conceptual model as a tool that creates a clear, formalized and systematic representation of a subject area like agriculture. Farms where grazing intensity and timing of major production cycle events are poorly controlled have led to the development of a diagnostic support system for environmental intensification in natural meadows, systems to improve the production and environmental performance of most calf farms in Uruguay

[6, P. 1-11], a ciguatoxin loading system in the Greater Caribbean region that uses empirical field data (temperature, Gambierdiscus cell density, macrophyte cover) to obtain simulation results [7, P. 1–13]. In the agricultural sector, scientists [8, P. 89–102] have proposed a conceptual model based on impulse differential equations to describe the dynamics of populations of susceptible and resistant pests over time. Researchers [9, P. 57–80] synthesized the available literature on a conceptual model of arthropod pest control strategies suitable for organic systems.

By the authors [10, P. 313–356], the presented model was based on the metaphor of a cube and supports geometric shapes and corresponding membership values, which provided a more expressive representation of vague spatial data, in which the application of pest control in agriculture was successfully described.

The model reproduces the properties of the system observed in field studies and shows under what conditions diametrically opposite hypotheses about plant viability and plant stress are confirmed [11, P. 1–12]. A conceptual model based on impulse differential equations was proposed [12, P. 71–82] to describe the dynamics of populations of susceptible and resistant pests over time.

It can be seen from the studied scientific sources that these studies help to develop a conceptual model for system automation, for software development, and various applications in different areas of human activity, in particular ecology, agriculture, and economics [13, P. 1–17], [14, P. 1–18].

The subject area, which uses information systems, applications, and software in its development in general, has a wide range of human activities, including medicine, in which scientists [15, P. 149–160] have shown the application of a conceptual model for an application describing the relationship related to clinical car.

One of these ranges of human activity is agriculture. For the comprehensive diagnosis, treatment and protection of plants from diseases and pests of corn, a conceptual model of an expert mobile application for pest and disease control has been developed [16, P. 1–8].

In the textbooks of A. P. G. Brown, P. Chen and other authors of the 60s and 70s, a conceptual model of the domain was proposed, representing the result of its object decomposition or ER model. The authors [17, P. 1–5] proposed a conceptual software model where, based on user stories, the flexibility of

software development is determined, offering the decomposition of models using UML diagrams. In research [18], using the flexible method, a model was shown that can generate various variants of requirements. [18, P. 1–10].

The purpose of this research is to create a formalized and systematized representation of an analytical system for predicting the growth rates of crop pests using a conceptual model. To achieve the goal, the following tasks were set: a) to develop requirements for the design of a conceptual model; b) to develop a conceptual model of an analytical system for pest forecasting.

All the actual material requires automated viewing and analysis in order to optimize the process and perform specific production tasks. In this study, an automated pest prediction system is based on machine learning. By using automated pest control systems, farmers can minimize labor costs, save time and reduce crop risks.

As a result of the development of any system, the problem arises of the correct organization of the interaction of system objects, which leads to the study of the subject area and the design of a conceptual model.

### **Methods and materials**

In carrying out this study, such theoretical methods as analysis and synthesis, as well as modeling were used.

Analytical methods [19, P. 1–14] used at the stage of forming a conceptual model contribute to increasing the reliability of data in substantiating the model being developed. One of the main analytical methods that has found application in the formation of a conceptual model is the method of system analysis.

Analyzing the current state of creation of conceptual models it is revealed that for forecasting and operational management of agricultural production, additional accounting and retrospective information on the yields of relevant crops is provided.

One of the main analytical methods used at the stage of conceptual model formation is also the method of statistical data analysis. The essence of this method is to collect statistical data on the object of study, then quantify the presence or absence of dependencies between the obtained data, and then use the identified dependencies for their mutual linkage within the conceptual model.

In the process of developing an analytical system for predicting the growth of the number of pests of grain crops, all stages of software development were followed. At the first stage of this study, the subject area was studied, that is, data

on pests of grain crops, in particular bread fleas, the causes of their spread (reproduction), factors influencing the growth of their numbers, which include location (regions of the Republic of Kazakhstan), soil, climate, and the number of distributions in previous years were studied. In the Republic of Kazakhstan, grain crops are privately grown in the northern, eastern and central regions of Kazakhstan and less often in the southern ones. In the course of the study, consultations were received from scientists in the field of phytosanitary forecasting of population dynamics of pests of grain crops. The harmfulness of bread fleas will largely manifest itself in dry, hot weather during the initial period of growth and development. At this time, the first leaf suffers most from the bread flea. Young plants are noticeably depressed, turn yellow and wither. Early crops are damaged more than later ones. Hence, the factor contributing to the development of the pest is a severe damage to plants by root rot. The next factor is the influence of the weather and climatic conditions of the growing season.

Hence, having studied the subject area, predicting the growth of the number of pests of grain crops, in particular the bread flea. In the conceptual model, the structural approach describes the structures of objects and their relationship. To develop a requirement for the design of a conceptual model, you should first answer a few questions:

- 1 Why do we need a conceptual model?
- 2 What will the conceptual model include?
- 3 What will the conceptual model look like?

Having received answers to these questions, it is possible to build requirements for a conceptual model of an analytical system for predicting the growth of the number of pests of grain crops.

The conceptual model development stage considers the sequence of actions to obtain a forecast of the number of bread flea growth. At the beginning of the project, data are collected from the RSU "Republican Methodological Center for Phytosanitary Diagnostics and Forecasts" on the number of density of striped fleas per m<sup>2</sup> in 8 regions of Kazakhstan. In addition, climatic indicators are obtained from the hydrometeorological center. All the received data is processed and presented in one tabular format (EXCEL databases). An EDA analysis (exploratory data analysis) is carried out, finding patterns in them and correlating between features (data). The result of the EDA analysis is the calculation of statistical values and the identification of the average, maximum, minimum

values of all quartiles (25 %, 50 %, 75 %) by all indications. Correlation matrix, dependency graphs. After the EDA analysis, an experiment is conducted to compare the results of using standard forecasting models (linear regression, gradient boosting, random forests, machine learning). Before the experiment, the processed data was normalized. The normalized data will serve as indicators of the input data, on the basis of which a data interaction matrix is created. The data is normalized through the Python StandardScaler library and is called from sklearn. A neural network is selected from standard forecasting models, with the help of which data is trained. After training the data, the result is visualized through an analytical system.

## **Results and Discussion**

### **Requirements for the design of a conceptual model**

The answers to the questions that will help to develop requirements for the design of a conceptual model of an analytical system will be as follows:

1 A conceptual model of the system is needed to visualize the complete picture of the system and the interaction between the objects of the system and to eliminate repetitions and errors in the system.

2 The conceptual model will include all objects and their interaction.

3 The conceptual model will be presented graphically using a UML diagram.

Having answered the questions, you can put forward the following requirements:

1 When defining the objects of the system, take into account the type of objects.

2 The model must include all the intended objects

3 It is necessary to take into account the connections between objects, the action of objects

4 The model must exclude the repetition of the action of the same object

5 The model should eliminate the looping of the process

6 The model must exclude the incompleteness of the algorithm

7 The model must comply with the principles of consistency, consistency and accessibility.

8 The model must be flexible so that blocks can be changed or replaced at any time.



### Development of a conceptual model of an analytical system for forecasting a pest of grain crops.

The concept of an analytical system describes what a block should have that trains data every time it is updated. The trained data is stored in the system database. The data is updated with the annual input of new data on the number of bread fleas. There are two ways to enter data manually or automatically. The analytical system provides a forecast for the number of pest growth for the next year, and provides analytical data for the past year. Indicates one or another factor that influenced the numerical growth of pests.

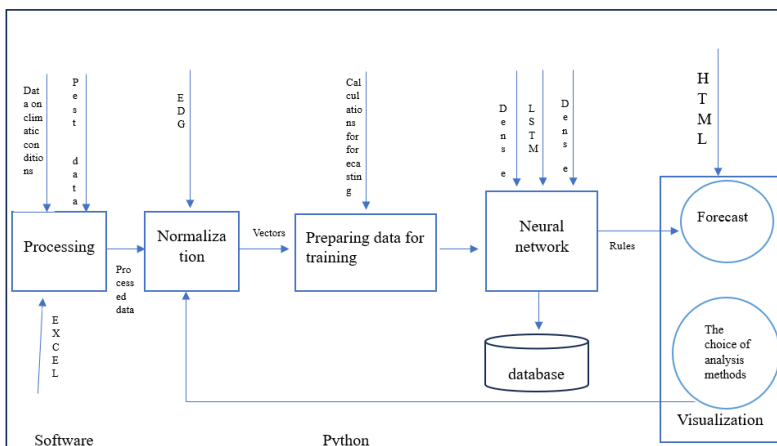


Figure 1 – The conceptual model.

The developed conceptual model (Figure 1) includes 8 interconnected blocks containing descriptions of objects interacting with each other. The conceptual model describes the information flow of data, which shows which objects the analytical system includes. Each object interacts with another object in one way or another and this is clearly reflected in the model. Clarity in the execution of the conceptual model gives a clear idea to developers who will be able to create a full-fledged working system with a user interface based on the model.

The data flow diagram clearly shows the movement of information from one object to another, as well as which object operates within which rule. Data processing requires data on climatic conditions and pests. This data is processed

in the normalization block, where it is converted into vectors, for further preparation for training. Preparing data for training consists in performing calculations for forecasting and transmitting them to a neural network. The neural network, based on the established rules, generates a forecast. Then the constructed neural network stores the results in a database and offers a choice of analysis methods. The final stage is the visualization of the forecast and the selected analysis methods.

The development of a conceptual model of an analytical pest forecasting system is an important stage in the design of an analytical system. It is worth noting that the choice of appropriate analysis and modeling methods is crucial for the successful implementation of an analytical system. In this research, a review of the scientific literature of the proposed conceptual models for various systems was conducted, which made it possible to identify optimal approaches to designing a conceptual model for an analytical system for forecasting pests of grain crops in agriculture.

The conceptual model in Figure 1 shows objects interacting with each other in the system. In this conceptual model, all objects and their interaction are clearly and clearly expressed, how data gets into the system and what happens to them, which gives the developer a clear understanding of the sequence of analytical system development, user interface development. The conceptual model was developed with respect to the above requirements, and therefore the model is error-free.

The conceptual model meets all the requirements for the design of modern systems. The sequence of the information flow described in the model indicates the consistency in the organization of the model.

Finally, the proposed model for the pest forecasting system is an important tool for improving the efficiency of developers' labor productivity.

**Information about financing.** This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant no. AP19675312).

### **Conclusion**

As mentioned above, the purpose of this research was to develop a conceptual model of an analytical forecasting system for the main pest of grain crops – the bread striped flea (*Phyllotreta vittula*). As a result, the purpose of the study was achieved and trained data in a neural network for predicting the

number of pests was obtained. Accurate and timely identification of the striped bread flea is an important step in increasing yields and ensuring the sustainability of agricultural production. The conceptual model is designed to help farmers mitigate the effects of pest attacks. The proposed model represents a practical way to predict the dynamics of the pest population.

In the design methodology, the entire development process is divided into three main phases: conceptual, logical and physical design. In this study, a conceptual model of an analytical system for predicting the number of pests of grain crops was presented.

In the future, the results of this study can be applied at the next stage of the development of an analytical system for forecasting and managing the number of pests in agriculture.

## REFERENCES

1 **Soares, L. C.** Transportation and logistics observatories: Guidelines for a conceptual model [Text] / L. C. Soares, E. Ferneda, H. A. do Prado // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. – 2022. – Vol. 16, N 100682. – P. 1–14.

2 **Gao, X.** A conceptual model to estimate flood damages for large-scale cities [Text] / X. Gao, K. Gao, Z. Yang, T. Xu, Z. Xu, H. Wei // *Urban Climate*. – 2023. – Vol. 50. – N 101574. – P. 1–11.

3 **Lee, C. K. F.** Mapping the extent of mangrove ecosystem degradation by integrating an ecological conceptual model with satellite data [Text] / C. K. F. Lee, C. Duncan, E. Nicholson, T. E. Fatoyinbo, D. Lagomasino, N. Thomas, T. Worthington, N. J. Murray // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. N 2047. – P. 1–19.

4 **Dinka, M. O.** Estimation of groundwater contribution to Lake Basaka in different hydrologic years using conceptual netgroundwater flux model [Text] / M.O. Dinka // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2020. – Vol. 30. N 100696. – P. 1–12.

5 **Xin, Y.** Analytical solutions for unsteady ground water flow in an unconfined aquifer under complex boundary conditions [Text] / Y. Xin, Z. Zhou, M. Li, C. Zhuang // *Water*. – 2020. – Vol. 12. N 75. – P. 1–13.

6 **Paparamborda, I.** A conceptual model of cow-calf systems functioning on native grasslands in a subtropical region [Text] / I. Paparamborda, S. Dogliotti, P. Soca, W.A. H. Rossing // *Animal*. – 2023. – Vol. 17. N 100953. – P. 1–11.

7 **Parsons, M. L.** CiguaMOD I: A conceptual model of ciguatoxin loading in the Greater Caribbean Region [Text] / M. L. Parsons, M. L. Richlen, T. B. Smith, D. M. Anderson, A. L. Abram, D.L. Erdner, A. Robertson // *Harmful Algae*. – 2024. – Vol. 131, N 102561. – P. 1–13.

8 **Lemesle, V.** Role of Spatial and Temporal Refuges in the Evolution of Pest Resistance to Toxic Crops [Text] / V. Lemesle, L. Mailleret, M. Vaissayre // *Acta Biotheoretica*. – 2010. – Vol. 58. N 2. – P. 89–102.

9 **Zehnder, G.** Arthropod pest management in organic crops [Text] / G. Zehnder, G.M. Gurr, S. Kühne, S. D. Wratten, E. Wyss // *Annual Review of Entomology*. – 2007. – Vol. 52. N 1. – P. 57–80.

10 **Siqueira, T. L. L.** Modeling vague spatial data warehouses using the VSCube conceptual model [Text] / Siqueira T.L.L., Ciferri, C.D.A., Times, V.C., Ciferri, R.R. // *GeoInformatica*. – 2014. – Vol. 18. N 2. – P. 313–356.

11 **Zaffaroni, M.** An ecophysiological model of plant–pest interactions: the role of nutrient and water availability [Text] / M. Zaffaroni, N.J. Cunniffe, D. Bevacqua // *Journal of the Royal Society Interface*. – 2020. – Vol. 17. N 172. – P. 1–12.

12 **Bozyiğit, F.** Linking software requirements and conceptual models: A systematic literature review [Text] / F. Bozyiğit, Ö. Aktaş, D. Kılınç // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. – 2021. – Vol. 24. N 1. – P. 71–82.

13 **Durán, C.** Influence of strategic interrelationships and decision-making in Chilean port networks on their degree of sustainability [Text] / C. Durán, F. Palominos, R. Carrasco, E. Carrillo // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. N 7. – P. 1–17.

14 **Song, Y.** Implementation of Data Mining Technology in Bonded Warehouse Inbound and Outbound Goods Trade [Text] / Y. Song, X. Hua // *Journal of Organizational and End User Computing*. – 2022. – Vol. 34. N 3. – P. 1–18.

15 **Nourbakhsh, Z.** Presenting a conceptual model of data collection to manage the groundwater quality [Text] / Z. Nourbakhsh, H. Yousefi // Journal of Water and Land Development. – 2017. – Vol. 35. N 1. – P. 149–160.

16 **Agustiono, W.** A Conceptual Model of Mobile Expert System for Integrated Pest and Disease Control: The Case of MyCorn [Text] / W. Agustiono, M. Syarief, D. Anamisa, F. Damayanti, M. Yusuf // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1569. N 2. – P. 1–8.

17 **Moore, E. F.** Development of an Advanced Practice Conceptual Model [Text] / E.F. Moore // The Journal for Nurse Practitioners. – 2023. – Vol. 19, N 104669. – P. 1–5.

18 **Gupta, A.** Generating multiple conceptual models from behavior-driven development scenarios [Text] / A. Gupta, G. Poels, P. Bera // Data and Knowledge Engineering. – 2023. – Vol. 145. N 102141. – P. 1–10.

19 **Eghbali, S.** An overview of analytical methods employed for quality assessment of *Crocus sativus* (saffron) [Text] / S. Eghbali, F. Farhadi, V.R. Askari // Food Chemistry: X. – 2023. – Vol. 20. N 100992. – P. 1–14.

Received 24.04.24.

Received in revised form 26.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

Г. А. Анарбекова<sup>1</sup>, \*А. С. Аканова<sup>1</sup>, Н. Н. Оспанова<sup>2</sup>, М. Ж. Калдарова<sup>3</sup>,  
С. Е. Шарипова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

<sup>2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>3</sup>Астана халықаралық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>4</sup>Астана ІТ университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

24.04.24 ж. баспаға түсті.

26.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ БОЛЖАУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРАТЫН АНАЛИТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ МОДЕЛІН ЖОБАЛАУ**

*Пәндік саланы зерттеу және тұжырымдамалық модель құру кез-келген жүйені дамытудағы маңызды қадамдар болып табылады, өйткені олар жүйенің талаптарын, функционалдығы мен құрылымын анықтауға және оны жүзеге асырмас бұрын жобаның жалпы көзқарасын орнатуға көмектеседі. Ауыл шаруашылығын автоматтандыру зиянкестер санының өсуін болжау үшін аналитикалық жүйелерді әзірлеуді талап етеді, бұл өз кезегінде тақырыптық саланы зерттеуді және аналитикалық жүйе үшін тұжырымдамалық модельді ұсынуды қамтиды. Бұл мәселені шешу ауыл шаруашылығы саласындағы ғалымдардың дәнді дақылдардың зиянкестерін анықтау санының өсуін есептеу және болжау кезіндегі жұмысын автоматтандыруға көмектеседі.*

*Әр түрлі қызмет салаларындағы, әсіресе ауыл шаруашылығы секторындағы қолданыстағы тұжырымдамалық модельдерге шолу жасалды. Жүйенің жоғары тиімділігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін жүйеге қойылатын талаптар қойылды.*

*Объектілер мен олардың өзара байланысын қамтитын дәнді дақылдардың зиянкестерін болжауға арналған аналитикалық жүйенің тұжырымдамалық моделі ұсынылған. Тұжырымдамалық модель жүйенің алгоритмдері мен принциптерін қамтиды.*

*Кілтті сөздер: тұжырымдамалық модель, аналитикалық жүйе, болжау, ауыл шаруашылығы, зиянкестер, жолақты нан бүргесі.*

Г. А. Анарбекова<sup>1</sup>, \*А. С. Аканова<sup>1</sup>, Н. Н. Оспанова<sup>2</sup>, М. Ж. Калдарова<sup>3</sup>,  
С. Е. Шарипова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Астана;

<sup>2</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>3</sup>Международный университет Астана, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>4</sup>Астана IT университет, Республика Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 24.04.24.

Поступило с исправлениями 26.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРУЮЩЕЙ ПРОЦЕСС ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*Изучение предметной области и создание концептуальной модели являются важными шагами в разработке любой системы, поскольку они помогают определить требования, функциональность и структуру системы, а также установить общее видение проекта перед его реализацией. Автоматизация сельского хозяйства требует разработки аналитических систем для прогнозирования роста численности вредителей, которая в свою очередь предполагает изучение предметной области и представления концептуальной модели для аналитической системы. Решение данной проблемы поможет автоматизировать работу ученых в области сельского хозяйства при расчете и прогнозе роста численности выявления вредителя зерновых культур.*

*Проведен обзор существующих концептуальных моделей во разных сферах деятельности, в особенности в*

*сельскохозяйственном секторе. Выдвинуты требования к системе, обеспечивающие высокую эффективность и надежность системы.*

*Представлена концептуальная модель аналитической системы для прогнозирования вредителя зерновых культур, которая включает объекты и их взаимосвязь между собой. Концептуальная модель включает алгоритмы и принципы работы системы.*

*Ключевые слова: концептуальная модель, аналитическая система, прогнозирование, сельское хозяйство, вредители, хлебная полосатая блошка.*



МРНТИ 44.31.01

<https://doi.org/10.48081/GOHN5422>**\*М. А. Ануарбеков<sup>1</sup> А. К. Яманбекова<sup>2</sup>***<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана**<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы**\*e-mail: [maxatanuarbekov@gmail.com](mailto:maxatanuarbekov@gmail.com)*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ СТАБИЛИЗАТОРА ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

*Синтетический газ является низкорреакционным топливом, и его состав постоянно меняется. Поэтому для эффективного сжигания синтетического газа различного состава необходимо подобрать оптимальный угол наклона стабилизатора. Уголковый стабилизаторы имеют три разных угла: стабилизатор под углом  $45^\circ$ , стабилизатор под углом  $60^\circ$  и стабилизатор под углом в виде полукруга. Размеры уголковых стабилизаторов, оптимальные аэродинамические сечение за стабилизатором были просчитаны с применением численного моделирования в программе «Comsol Multiphysics 6.0». Основная цель заключалась в разработке физических моделей и численном исследовании аэродинамического потока воздуха (синтетического газа) в горелочном устройстве с целью определения оптимального угла стабилизаторов для эффективного горения топливно-воздушной смеси. Проведя анализ результатов численного моделирования уголковых стабилизаторов, что размеры, угол стабилизаторов существенно влияют на скоростные профили и аэродинамику. Особое внимание следует уделить области внутри уголковых стабилизаторов, где находится зона обратных токов. Влияние изменения скоростей на контуры скорости оказалось незначительным, однако общий вывод состоит в том, что угол наклона и форма стабилизатора оказывают влияние на процессы смешивания топливно-воздушной смеси и, следовательно, на стабилизацию, неполное сгорание топлива и выбросы оксидов азота.*

*Ключевые слова: уголкового стабилизаторы, аэродинамические сечение, закрученные потоки, зона обратных токов, контуры скорости, топливно-воздушной смеси.*

### **Введение**

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в современном мире являются наиболее актуальными. В частности для Казахстана это получение биогазов от растительного и животного мира и использование биогазов для выработки тепла при сгорании для различных нужд фермерских хозяйств. Поэтому биогаз представляет собой состав различных газов и где  $\text{CH}_4$  метана содержится гораздо меньше чем по сравнению с природным газом, поэтому они низкорекреационный и по составу постоянно меняется от газогенератора зависят. Добавление ферментов и условия режима от температуры биомассы. Поэтому необходимо создать универсальные горелочные устройства которые бы эффективно могли сжигать синтетические или биогазы разного состава. Анализ различных горелочных устройств показал что наиболее подходящими приемлими можно создать при использовании микрофакельного сжигания, с различными закрутками, с различными возвратами обратными течениями, но имеются циркуляционные эффекты. Потому что, для воспламенения биогаза и синтетического газа необходимо как можно в горячей зоне находились больше объема газов. Второе вы знаете температура воспламенения оно гораздо будет выше чем у метана и так далее. Поэтому, масса горячих газов и по времени должно определенным образом исследовать, провести исследование и выбрать наиболее лучший вариант рационально.

Закрученный поток характеризуется тремя составляющими скорости – радиальной, осевой и тангенциальной, которые около закручивающегося устройства соизмеримы друг с другом (рис. 1). При слабой закрутке потока аксиальная (осевая) составляющая скорости будет максимальной по оси. С увеличением закрутки аксиальная составляющая проваливается по оси и профиль скорости примет М-образную форму. При сильной закрутке появляется зона обратных токов по оси, называемые в горелках центральной зоной рециркуляции (ЦЗР). Дальнейшее увеличение закрутки образует прецессирующее вихревое ядро по оси потока. Одной из наиболее важных характеристик закрученного потока является создание отрицательного градиента давления как вдоль, так и поперек потока.

Сообщалось, что отрицательный градиент давления способствовал разрушению вихрей, что приводило к образованию зоны рециркуляции [1, 2], что, в свою очередь, улучшало стабильность пламени при сохранении более низких уровней выбросов [3] и работал как источник тепла и химических радикалов [4].

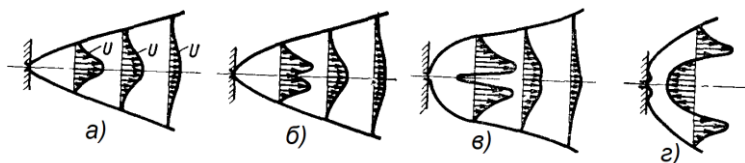


Рисунок 1 – Профиль скоростей свободных затопленных струй различной степени крутки:

а – слабо закрученная струя, б – умеренно закрученная струя, в – сильно закрученная сомкнутая струя, г – сильно закрученная разомкнутая струя.

Увеличение скорости закрутки входящего в камеру сгорания воздушного потока является подходом к увеличению скорости смешивания топлива с воздухом при сжигании без предварительного смешивания [5, 6]. В пламени без предварительного смешивания увеличение числа завихрений увеличивает время пребывания горючих веществ внутри камеры сгорания, что влияет на распределение температуры пламени, скорость теплопередачи пламени и образование загрязняющих веществ [7]. [8] исследовали эффект увеличения числа завихрений входящего воздуха в горелках на жидком топливе. Они обнаружили, что увеличение числа завихрений уменьшит выброс оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и приведет к более низкой температуре выхлопных газов камеры сгорания.

### Материалы и методы

Для численного моделирования использовалась программа COMSOL Multiphysics 6.0 [9], предназначенная для анализа структур, устройств и процессов в различных областях инженерии, производства и науки. Основная цель заключалась в разработке физических моделей и численном исследовании аэродинамического потока воздуха (синтетического газа) в горелочном устройстве с целью определения оптимального угла стабилизаторов для эффективного горения топливно-воздушной смеси.

Это моделирование позволяет анализировать отдельные и взаимосвязанные физические процессы, также визуализировать газовые потоки в естественных и технических объектах с использованием методов компьютерной графики [10,11].

На рисунке 2 изображены этапы моделирования трех разновидностей стабилизаторов, созданных с применением моделирования в двумерном пространстве на основе реализуемой модели турбулентности к-ε. В исследовании использовались стабилизатор в виде полукруга и два уголкового стабилизатора с углами равными 45 и 60°. Данные углы были выбраны исходя из того, что они являются наиболее оптимальными с точки зрения обеспечения горения, согласно предыдущим экспериментам [12].

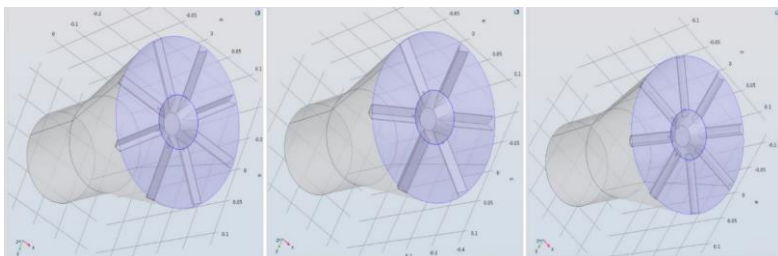


Рисунок 2 – Общий вид исследуемых горелок  
в программе «Comsol Multiphysics 6.0»

- а) уголкового стабилизатора под углом 45°; б) уголкового стабилизатора под углом 60°; в) уголкового стабилизатора под углом в виде полукруга

На рисунке 3 демонстрируется тетраэдральная адаптивная сетка, охватывающая моделируемую область. Количество элементов в данной области на рисунке 3а составляет 4820, на рисунке 3б – 3640, а на рисунке 3в – 4505. Сетка представлена группой тетраэдров, что обеспечивает эффективное вычисление различных вариантов поля напряжений и достижение высокоточных результатов.

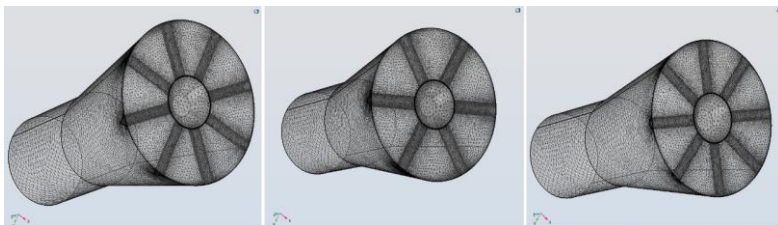


Рисунок 3 – сетка моделируемой области  
в программе «Comsol Multiphysics 6.0»

а) уголкоый стабилизатор под углом  $45^{\circ}$ ; б) уголкоый стабилизатор под углом  $60^{\circ}$ ; в) уголкоый стабилизатор под углом виде полукруга

### Результаты и обсуждение

Размеры уголкоый стабилизаторов, межстабилизаторное расстояние, скорость воздуха, оптимальные аэродинамические сечение за стабилизатором были просчитаны с применением численного моделирования в программе «Comsol Multiphysics». Результаты численного моделирования представлены на рисунках 4-6.

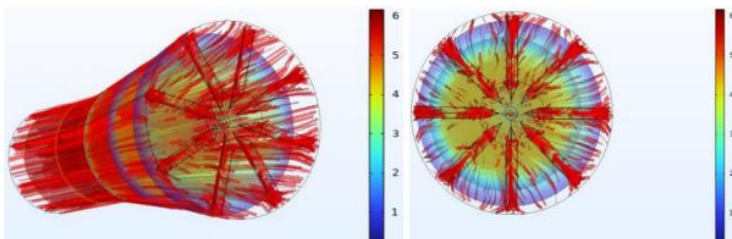


Рисунок 4 а – Уголкоый стабилизатор под углом  $45^{\circ}$  при 6 м/с

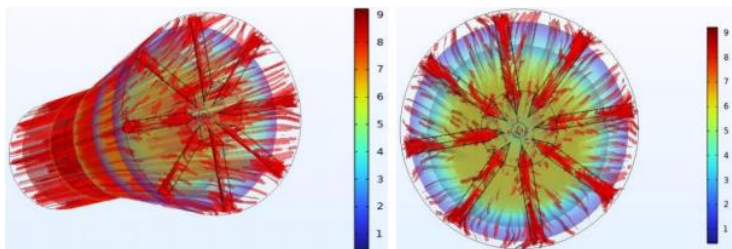


Рисунок 4 б – Уголкоый стабилизатор под углом  $45^{\circ}$  при 9 м/с

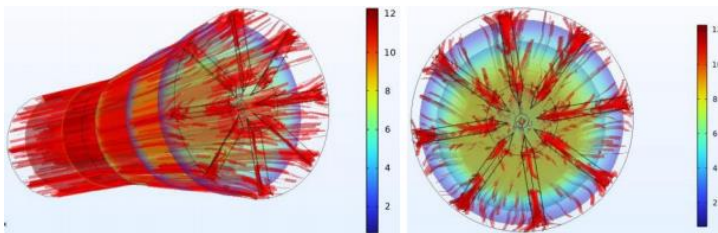


Рисунок 4 с – Уголкоый стабилизатор под углом  $45^0$  при 12 м/с

На рисунке 4 а, б, с показан контур скорости в стабилизаторе под углом  $45^0$  при скоростях выбранных из расчета 6, 9, 12 м/с. Уголкоый стабилизатор имеет строение конструкции под углом  $45^0$  из-за чего в зоне рециркуляции объем воздуха становится меньше, область обратного тока за стабилизатором не является оптимальной, что следует недожогу в процессе смешивания воздуха и топлива, приводящему к неустойчивому горению. При смешивании воздуха и топлива выявлена минимальная расчетная скорость срыва на богатой смеси – 6 м/с, а максимальная расчетная скорость срыва на бедной смеси – 12 м/с, в следствие расчетов для более стабильного горения была выбрана оптимальная скорость – 9 м/с. Вычисленные скорости использовались в экспериментальных исследованиях.

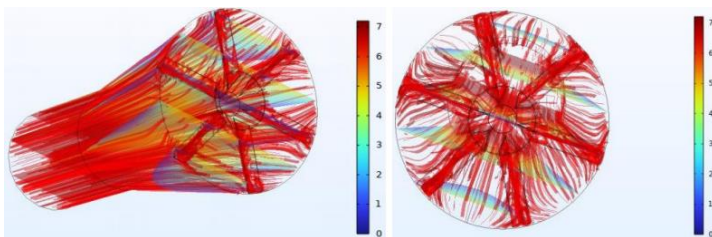
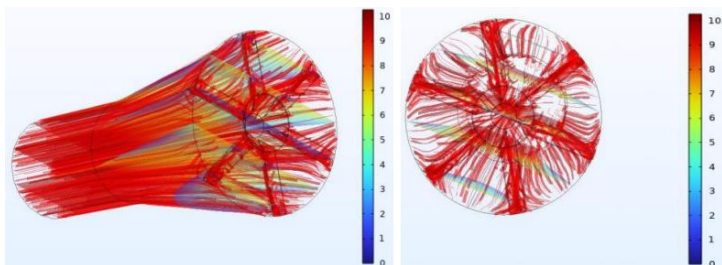
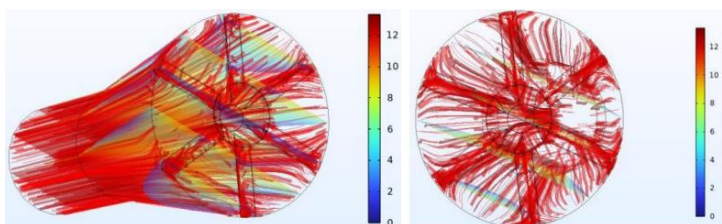


Рисунок 5 а – Уголкоый стабилизатор под углом  $60^0$  при 7 м/с

Рисунок 5 б – Уголковый стабилизатор под углом  $60^{\circ}$  при 10 м/сРисунок 5 с – Уголковый стабилизатор под углом  $60^{\circ}$  при 13 м/с

На рисунке 5 а, б, с показан контур скорости в стабилизаторе под углом  $60^{\circ}$  при скоростях выбранных из расчета 7, 10, 13 м/с. Уголковый стабилизатор под углом  $60^{\circ}$  имеет меньший расход топлива, а из-за строения его конструкции в зоне рециркуляции объем воздуха становится меньше, область обратного тока за стабилизатором не является оптимальной, что следует недожогу в процессе смешивания воздуха и топлива, приводящему к неустойчивому горению. При смешивании воздуха и топлива выявлена минимальная расчетная скорость срыва на богатой смеси – 7 м/с, а максимальная расчетная скорость срыва на бедной смеси – 13 м/с, в следствие расчетов для более стабильного горения была выбрана оптимальная скорость – 10 м/с. Вычисленные скорости использовались в экспериментальных исследованиях.

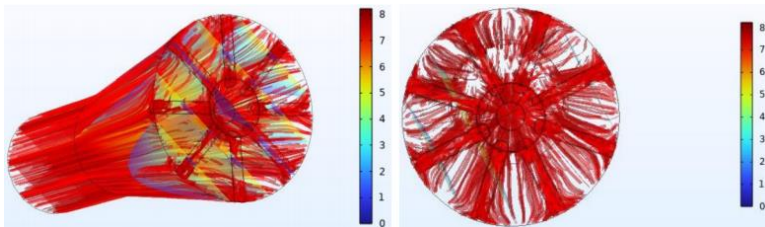


Рисунок 6 а – Уголковый стабилизатор под углом виде полукруга при 8 м/с

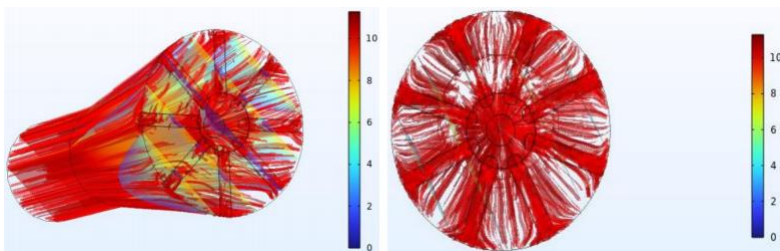


Рисунок 6 б – Уголковый стабилизатор под углом виде полукруга при 11 м/с

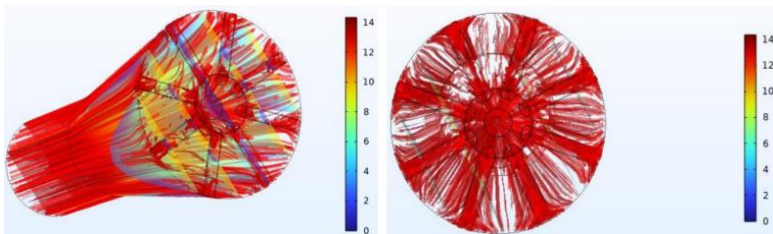


Рисунок 6 с – Уголковый стабилизатор под углом виде полукруга при 14 м/с

На рисунке 6 а, б, с показан контур скорости в стабилизаторе под углом виде полукруга при скоростях выбранных из расчета 8, 11, 14 м/с. Полукруглый уголковый стабилизатор имеет строение конструкции в виде полукруга из-за чего в зоне рециркуляции объем воздуха становится больше, область обратного тока за стабилизатором является оптимальной, что следует улучшению процесса смешивания воздуха и топлива, приводящему к устойчивому горению. При смешивании воздуха и топлива



выявлена минимальная расчетная скорость срыва на богатой смеси – 8 м/с, а максимальная расчетная скорость срыва на бедной смеси – 14 м/с, в следствие расчетов для более стабильного горения была выбрана оптимальная скорость – 11 м/с. Вычисленные скорости использовались в экспериментальных исследованиях.

### **Выводы**

Проведя анализ результатов численного моделирования уголковых стабилизаторов, что размеры, угол стабилизаторов существенно влияют на скоростные профили и аэродинамику. Влияние изменения скоростей на контуры скорости оказалось незначительным, однако общий вывод состоит в том, что угол наклона и форма стабилизатора оказывают влияние на процессы смешивания топливно-воздушной смеси и, следовательно, на стабилизацию, неполное сгорание топлива и выбросы оксидов азота. Особое внимание следует уделить области внутри уголковых стабилизаторов, где находится зона обратных токов. Стабилизатор в форме полукруга продемонстрировал наилучшие параметры контуров давлений и скоростей благодаря присутствию обширной зоны медленной рециркуляции за ним. При смешивании воздуха и топлива выявлена минимальная расчетная скорость срыва на богатой смеси, а максимальная расчетная скорость срыва на бедной смеси, в следствие расчетов для более стабильного горения была выбрана оптимальная скорость. Расчетные скорости были использованы в ходе экспериментальных исследований.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 **Ахмедов, Р. Б.** Аэродинамика закрученной струи [Текст]. / Р. Б. Ахмедов, Т. Б. Балагуда, Ф. К. Рашидов [и др.]; под ред. Р. Б. Ахмедова. –М. : Энергия, 1977. – 240 с.
- 2 **Leibovich, S.** Vortex stability and breakdown // Survey and extension AIAA J., – 22 (9). – (1984), P. 1192-1206.
- 3 **Coghe, A., Solero, G., Scribano, G.** Recirculation phenomena in a natural gas swirl combustor Exp. Therm. Fluid Sci. – 28 (7). – (2004), P. 709–714.
- 4 **Сударев, А. В., Маев, В. А.** Газотурбинные камеры сгорания с закрученным движением воздушных потоков. – М., 1968. – 50 с.

5 **Tong, Y., Liu, X., Wang, Z., Richter, M., Klingmann, J.** Experimental and numerical study on bluff-body and swirl stabilized diffusion flames // *Fuel*, 217. (– 2018), P. 352–364.

6 **Wang, L.-Y., Chatterjee, S., An, Q., Steinberg, A.M., Gülder, Ö.L.** Soot formation and flame structure in swirl-stabilized turbulent non-premixed methane combustion. // *Combust. Flame*, 209. (–2019), P. 303–312.

7 **Rashwan, S. S.** The effect of Swirl number and oxidizer composition on combustion characteristics of non-premixed methane flames. // *Energy Fuels*, – 32 (2) – (2018). P. 2517–2526.

8 **Poorhoseini, H., Saedi, A., Moghiman, M.** Experimental and numerical investigation of the inlet air swirl angle effects on temperature profile and CO, NO pollutants. *Energy Engineering Management* –2 (1). (2012). P. 32-39.

9 User Guide. Introduction to COMSOL Multiphysics [Electronic resource].– [www.comsol.ru](http://www.comsol.ru).

10 **Veynante, D., Vervisch, L.** Turbulent combustion modeling. // *Journal: Progress in Energy and Combustion Science*. – V. 28 – Issue 3. – March 2002. – 193–266 p. – [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(01\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(01)00017-X)

11 **Gonzalez-Jueza, E. D., Kersteinb, A. R., Ranjanc, R., Menonc, S.** Advances and challenges in modeling high-speed turbulent combustion in propulsion systems // *Journal : Progress in Energy and Combustion Science* – V. 60. – May, 2017. – P. 26–67.

12 **Zinser W.** Zur Entwicklung mathematischer Flammenmodelle für die Verbrennung technischer Brennstoffe // *Fortschritt-Berichte VDI-Verlag*. – 1984. – Vol. 6. – № 171. – P. 191 (in German).

## REFERENCES

1 **Akhmedov, R. B.** Aerodinamika zakruchennoj strui [Aerodynamics of a swirling jet] [Text] / Р.Б. Ахмедов, Т.Б. Балагуда, Ф.К. Рашидов [и др.]; под ред. Р.Б. Ахмедова. – М. : Энергия, 1977.– 240 с.

2 **Leibovich, S.** Vortex stability and breakdown – Survey and extension *AIAA J.*, 22 (9) (1984), P. 1192-1206.

3 **Coghe, A., Solero, G., Scribano, G.** Recirculation phenomena in a natural gas swirl combustor // *Exp. Therm. Fluid Sci.* – 28 (7). 2004 P. 709–714.

4 **Sudarev, A. V., Mayev, V. A.** Gazoturbinnnye kamery sgoraniya s zakruchennym dvizheniem vozdushnyh potokov [Gas turbine combustion chambers with swirling air flow]. – Moscow., 1968. – 50 с.

5 **Tong, Y., Liu, X., Wang, Z., Richter, M., Klingmann, J.** Experimental and numerical study on bluff-body and swirl stabilized diffusion flames // Fuel, 217. 2018. P. 352–364.

6 **Wang, L.-Y., Chatterjee, S., An, Q., Steinberg, A. M., Gülder, Ö. L.** Soot formation and flame structure in swirl-stabilized turbulent non-premixed methane combustion. // Combust. Flame. 209. 2019. P. 303–312.

7 **Rashwan, S. S.** The effect of Swirl number and oxidizer composition on combustion characteristics of non-premixed methane flames. // Energy Fuels.– 32 (2) – (2018), P. 2517-2526.

8 **Poorhoseinni, H., Saeedi, A., Moghiman, M.** Experimental and numerical investigation of the inlet air swirl angle effects on temperature profile and CO, NO pollutants. // Energy Engineering Management. 2 (1). – (2012), P. 32–39.

9 User Guide. Introduction to COMSOL Multiphysics, [Electronic resource] [www.comsol.ru](http://www.comsol.ru).

10 **Veynante, D., Vervisch, L.** Turbulent combustion modeling.// Journal: Progress in Energy and Combustion Science. – V. 28 – Issue 3. – March 2002 – P. 193–266 – [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(01\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(01)00017-X)

11 **Gonzalez-Jueza, E. D., Kersteinb, A. R., Ranjanc, R., Menonc, S.** Advances and challenges in modeling high-speed turbulent combustion in propulsion systems // Journal : Progress in Energy and Combustion Science – V. 60. – May, 2017. – P 26–67

12 **Zinser W.** Zur Entwicklung mathematischer Flammenmodelle für die Verbrennung technischer Brennstoffe // Fortschritt-Berichte VDI-Verlag. – 1984. – Vol. 6. № 171. – P. 191. (in German).

Поступило в редакцию 05.04.24.

Поступило с исправлениями 18.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

\*М. А. Ануарбеков<sup>1</sup>, А. К. Яманбекова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

19.03.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ОҢТАЙЛЫ ПАРАМЕТРЛЕРДІ АНЫҚТАУ МАҚСАТЫНДА ЖАНАРҒЫ ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ ТҰРАҚТАНДЫРҒЫШЫНЫҢ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ҚИМАСЫН МОДЕЛЬДЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ**

*Синтетикалық газ төмен реактивті отын болып табылады және оның құрамы үнемі өзгеріп отырады. Сондықтан әртүрлі құрамдағы синтетикалық газды тиімді жағу үшін тұрақтандырғыштың оңтайлы бұрышын таңдау керек. Бұрыштық тұрақтандырғыштардың үш түрлі бұрышы бар: 45° бұрыштық тұрақтандырғыш, 60° бұрыштық тұрақтандырғыш және жарқтылай шеңбер тәрізді бұрыштық тұрақтандырғыш. Бұрыштық тұрақтандырғыштардың өлшемдері, тұрақтандырғыштың артындағы оңтайлы аэродинамикалық қималар «Comsol Multiphysics 6.0» бағдарламасында сандық модельдеуді қолдану арқылы есептелді. Негізгі мақсат отын-ауа қоспасының тиімді жануына тұрақтандырғыштардың оңтайлы бұрышын анықтау үшін оттық құрылғысындағы ауаның (синтетикалық газдың) аэродинамикалық ағынын физикалық модельін жасау мен сандық зерттеу болды. Бұрыштық тұрақтандырғыштардың сандық модельдеу нәтижелеріне талдау жасай отырып, тұрақтандырғыштардың өлшемдері, бұрышы жылдамдық профилдері мен аэродинамикаға айтарлықтай әсер етеді. Кері ток аймағы орналасқан бұрыштық тұрақтандырғыштардың ішіндегі аймаққа ерекше назар аудару керек. Жылдамдықтың өзгеруінің жылдамдық тізбектеріне әсері шамалы болды, дегенмен жалпы қорытынды – тұрақтандырғыштың көлбеу бұрышы мен пішіні отын-ауа*

*қоспасын араластыру процесстеріне, демек, тұрақтандыруға, жанармайдың толық жанбауына және азот оксидтерінің шығарындыларына әсер етеді.*

*Кілтті сөздер: бұрыштық тұрақтандырғыштар, аэродинамикалық қима, бұралған ағындар, кері ток аймағы, жылдамдық тізбектері, отын-ауа қоспасы.*

\**M. A. Anuarbekov<sup>1</sup>, A. K. Yamanbekova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>2</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 05.04.24.

Received in revised form 18.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **THE RESULTS OF MODELING THE AERODYNAMIC SECTION OF THE STABILIZER OF THE BURNER DEVICE IN ORDER TO DETERMINE THE OPTIMAL PARAMETERS**

*Synthetic gas is a low-reaction fuel, and its composition is constantly changing. Therefore, in order to effectively burn synthetic gas of various compositions, it is necessary to choose the optimal angle of inclination of the stabilizer. Angular stabilizers have three different angles: a stabilizer at an angle of 45°, a stabilizer at an angle of 60° and a stabilizer at an angle of a semicircle. The dimensions of the corner stabilizers and the optimal aerodynamic cross-section behind the stabilizer were calculated using numerical modeling in the Comsol Multiphysics 6.0 program. Gorenje's main goal was to develop physical models and numerical study of the aerodynamic flow of air (synthetic gas) in a burner device in order to determine the optimal angle of stabilizers for efficient combustion of the fuel-air mixture. After analyzing the results of numerical modeling of angular stabilizers, it was found that the size and angle of the stabilizers significantly affect the speed profiles and aerodynamics. Special attention should be paid to the area inside the corner stabilizers, where the reverse*

*current zone is located. The effect of velocity changes on the velocity contours turned out to be insignificant, but the general conclusion is that the angle of inclination and the shape of the stabilizer affect the mixing processes of the fuel-air mixture and, consequently, stabilization, incomplete combustion of fuel and emissions of nitrogen oxides.*

*Keywords: angular stabilizers, aerodynamic cross section, swirling flows, reverse current zone, velocity contours, fuel-air mixture.*

МРНТИ 44.39.01

<https://doi.org/10.48081/RBOS1447>

**А. С. Аскарова, С. А. Болегенова, В. Ю. Максимов,  
\*Е. Медетұлы**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.*

\*e-mail: [medetuli\\_ernar@mail.ru](mailto:medetuli_ernar@mail.ru)

## **ЖЕЛ ТУРБИНАСЫ АРҚЫЛЫ ӨТЕТІН ТУРБУЛЕНТТИ ТҰРАҚСЫЗ АҒЫНДЫ 3D МОДЕЛЬДЕУ**

*Қазба отындарының болжамды тапшылығына және олардың қоршаған ортаға теріс әсеріне байланысты қазіргі уақытта жаңартылатын көздерден энергия өндіру энергетика секторындағы негізгі бағыт болып табылады. Жел энергиясы-жасыл энергияның әлеуетті және тез өсіп келе жатқан көздерінің бірі. Бұл, атап айтқанда, соңғы екі онжылдықта жел энергиясын өндіру құны бес еседен астам төмендегендіктен. Бұл зерттеу ОрепFoат бағдарламалық пакетін қолдана отырып, көлденең осьті жел турбинасын теориялық және есептеу арқылы модельдеуге бағытталған. CFD сандық модельдеу әдістерін қолдану жел турбинасының өнімділігін 10 м/с жел жылдамдығында егжей-тегжейлі талдауға және бағалауға мүмкіндік берді. Навье-Стокс теңдеулер жүйесін шешуге негізделген динамиктер. Турбуленттік  $k-\omega$  SST моделі арқылы математикалық модельдеу әдістері қолданылды. Нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігі үшін маңызды болып табылатын модельдеу торының ерекшеліктері де қарастырылады. Салынған торлардан алынған мәліметтердің нәтижесінде стационарлық бөлік кеңістіктің үлкен көлемін қамтиды және жоғары ажыратымдылыққа ие. Мысалы, бекітілген бөліктің торы blockmesh көмегімен салынған 12 421 326 ұяшықтан тұрады. Осылайша, жел турбиналарын өндіру басталғанға дейін олардың тиімділігін бағалау үшін модельдеу*

*олардың өнімділігін арттыруға және электр энергиясын өндіру процесін оңтайландыруға ықпал етеді.*

*Кілтті сөздер: 3D модельдеу, жел турбинасы, тұрақсыз, тор, шешуші, утилиталар.*

## **Кіріспе**

Қазақстанда энергияны жоғары тұтыну және жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) қарқынды дамытудың жаһандық процестеріне тарту жағдайында жел энергетикасы саласы өте өзекті болып отыр. Жел энергиясы-ең қарқынды дамып келе жатқан жаңартылатын энергия көздерінің бірі. Жел энергиясының артықшылықтары мен елдің энергетикалық қауіпсіздігіне қосқан үлесі арқасында жаңартылатын энергияның бұл түрі кеңінен енгізілуде. Жел ресурстары Қазақстан аумағында кең таралған. Сонымен қатар, электр энергиясын алыс қашықтыққа беру ескірген инфрақұрылым мен ұрлық салдарынан болған шығындарға байланысты тиімсіз. Демек, жел энергиясын пайдалану көмір және газ электр станциялары өндіретін электр энергиясын беру құнымен салыстырғанда экономикалық тұрғыдан тиімді. Экономикалық тұрғыдан алғанда, ұзақ мерзімді перспективада жел әлеуеті жоғары аудандарда жел электр станцияларының құрылысы жаңа көмір электр станциясының құрылысымен және энергия беруімен салыстырылады. Жел энергетикасының экологиялық аспектісіне келетін болсақ, жыл сайын сағатына 1,5 миллион МВт энергия өндіруге қабілетті 500 мегаватт (МВт) жел электр станциясын орнату 1,5 миллион тонна парниктік газдар, 12 мың тонна күкірт оксиді, 7,8 мың тонна азот оксиді, 12,6 мың тонна күл және 420 мың тонна қатты қалдықтардың шығарылуына жол бермейді.

Жел турбиналары қазба отындарына тәуелділікті төмендететін және парниктік газдар шығындыларын азайтатын жаңартылатын энергияның ең перспективалы көздерінің бірі болып табылады. Дегенмен, жел турбиналарын тиімді пайдалану үшін олардың жұмысына әсер ететін көптеген факторларды ескеру қажет, мысалы, қалақтардың геометриясы, желдің жылдамдығы, шабуыл бұрышы, айналу жиілігі және т.б. бұл қалақтардың қозғалыс динамикасын және ауа ағынымен өзара әрекеттесуін ескере отырып, жел турбиналарының айналуын сандық модельдеуді қажет етеді. Сандық модельдеудің қолданудың артықшылығы, ол әртүрлі



жағдайларда жүйенің мінез-құлқын талдауға және болжауға, тәжірибелер мен зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді, олар өмірде тым күрделі, қымбат немесе мүмкін емес болуы мүмкін зерттеулерді минималды шығынмен болжауға мүмкіндік береді.

### **Материалдар мен әдістер**

Жел турбинасын модельдеу үшін CFD сандық шешу моделі қолданылады. CFD модельдеу (Computational Fluid Dynamics modeling) – физика-математикалық әдістерді қолдана отырып, ағындық процестердің сипаттамаларын есептеуге арналған үздіксіз механиканың бір саласы.

Қойылған мақсатқа жету үшін сандық есеппен модельдеу OpenFoam еркін таратылатын бағдарламалық жасақтамасы арқылы жасалады, ол модельденген объектінің айналасындағы ортаның әр түрлі сипаттамаларын алу үшін бірқатар мүмкіндіктерді ұсынады. C++ кодына негізделген OpenFoam кеңістіктегі жүйенің жеке туынды бойынша дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешуге арналған құралдарды ұсынатын кітапханалар жиынтығына негізделген [1, 17-б.]. Жел турбинасының айналуын модельдеу үшін OpenFoam мен жұмыс істеу және оны шешілетін мәселеге бейімдеу келесідей орындалады:

Файлдар конфигурациясы орнатылады. OpenFoam қалталар мен конфигурациялық файлдардың белгілі бір иерархиясын қолданады, олардың орналасқан жері пакетте утилиталармен алдын-ала белгілі. Кейбірінде тор(mesh) – модельденген жағдайдың геометриясының сипаттамасы сақталады. Кейбіреулерінде-қолданылатын шешушінің параметрлері, қолданылатын интегралдау әдістері, ағын қозғалысының дифференциалдық теңдеулерін шешу, қоршаған ортаның сипаттамалары және т. б. Конфигурациялық файлдардың параметрлері OpenFoam-мен жұмыс істеудің ең қиын бөлігі болып табылады

Торды құру. Берілген файлдарға арналған арнайы утилиталардың көмегімен параметрлер тордың автоматтандырылған құрылысы жасалады. Сапалы торды құру қоршаған ортаны модельдеу нәтижесіне әсер ететін маңызды міндет болып табылады. OpenFoam өз есептеулерінде соңғы көлем әдісін қолданады. Торды модельдеу кеңістігі көптеген көлемдерге бөлінеді және әрбір осындай бөлік үшін біртекті құрамды ортаның бір бөлігі үшін есептеулер жасалады. Бұл дегеніміз, егер күрделі процестің нақты есептеулерін алу қажет болса, бұл жағдайда тор кішірек болуы керек.

Турбулентті ағын қозғалысын модельдеу. Ол үшін қол жетімді утилиталар жиынтығы шешушілер қолданылады. Модельдеу кезінде алдын ала белгіленген бастапқы шарттарға сүйене отырып, шешушіге салынған дифференциалдық теңдеулер шешіледі, сұйықтықтың әр соңғы көлеміндегі жылдамдығы, қысымы анықталады. Барлығы жинақталып конфигурация кезеңінде берілген ағын және объектімен ағынның өзара әрекеттесуі туралы мәліметтер-ақпарат мөлшері өткізгіш экспериментті реттейді. Конфигурациялық файлдарда орнатылған жиілікпен әрбір соңғы көлем туралы барлық қажетті деректер жеке файлдарға жиналады.

Кейінгі өңдеу. OpenFoam-да алынған деректерді өңдеуге мүмкіндік беретін көптеген утилиталар бар, минимумдарды табу, орташалау және т. б. алынған эксперименттерді көру үшін Paraview пакеті қолданылады, оның көмегімен әртүрлі графиктер құра аласыз және объектінің айналасындағы ағындарды, қысымның таралуын, жылдамдықты және олардың құрамдас бөліктерін. Сондай-ақ, нәтижелерді әр түрлі форматта жазу мүмкіндігі бар-суреттерді сақтаудан бастап анимацияларды жазуға дейін.

### Модельдің физикалық шешуші теңдеуі

Шешуші теңдеу соңғы көлем әдісі немесе дискретизация әдісі атауымен белгілі. Навье-Стокс теңдеуі интегралды түрде

$$\oint (\rho \phi \mathbf{u}) \cdot \mathbf{n} dA = \oint \Gamma \frac{d\phi}{dx} dA + \int S(\phi) dV \quad (1)$$

мұндағы бірінші мүше-конвекция мүшесі, екіншісі-диффузия мүшесі, ал үшіншісі-көздің мүшесі. Беттік интегралды көлемдік интегралға айналдыру үшін Гаусс теоремасын қолдана отырып және ағынның векторлық функциясы тегіс деп есептей отырып, дифференциалдық формадағы теңдеуді тұрақты бір өлшемді конвекция мен диффузия теңдеуіне айналдыруға болады:

$$\frac{d}{dx} (\rho u \phi) = \frac{d}{dx} \left( \Gamma \frac{d\phi}{dx} \right) + S(\phi) \quad (2)$$

үздіксіздік теңдеуін қанағаттандыруы керек  $\nabla \cdot (\rho u A) = 0$ . Тасымалдау теңдеуін интегралдау келесідей өрнекті береді:

$$(\rho u A \phi)_e - (\rho u A \phi)_\omega = (\Gamma A \frac{d\phi}{dx})_e - (\Gamma A \frac{d\phi}{dx})_\omega + \bar{S} V_P \quad (3)$$

мұндағы  $\bar{S}$  – бастапқы мүшенің орташа мәні,  $V_P$  – көлем, а  $P$  және  $\Gamma$  – диффузия коэффициенті.

Конвективті ағынды  $F$  және диффузиялық өтімділігін  $D$  тапсақ

$$F_e = (\rho u)_e \text{ и } D_e = \left( \frac{\Gamma}{\delta x} \right)_\omega \quad (4)$$

және  $\phi_e$  болса

$$\frac{d\phi_e}{dx} \approx \frac{\Delta\phi_e}{\delta x_{PE}} = \frac{\phi_E - \phi_P}{\delta x_{PE}} \quad (5)$$

Батыс бетімен байланысты жағдайлар да осылай бағаланады.

$A_e = A_\omega = A$  деп болжау жасасақ, онда (3) өрнект келесі түрде жазуға болады:

$$F_e \phi_e - F_\omega \phi_\omega = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_\omega (\phi_P - \phi_W) + S_u + S_P \phi_P \quad (6)$$

Мұнда бастапқы мүше біртекті бөліктен  $S_u$ , және біртекті емес бөліктен  $S_P \phi_P$  тұрады деп жуықталған. Үзіліссіздік теңдеуі  $F_e - F_\omega = 0$  болатынын береді.

### ***Қолданылатын турбуленттік k- $\omega$ SST моделі***

SST қысымды тасымалдауды білдіреді. k- $\omega$  SST моделі шекара үшін және қабаттар қысыммен бөлінген кезде де қабырғалар бойымен жақсы жұмыс істейді [6, 2-б.]. Шекаралық шарттарына келгенде, бұл модель k- $\omega$  сияқты сезімтал емес. Осылайша, бұл байланыс аэродинамика мәселелерін шешу үшін пайдалы. Бұл модель k- $\epsilon$  және k- $\omega$  моделінің біріккен моделі болып табылады, k- $\epsilon$  бетінен алыс жерде, ал k- $\omega$  шекаралық қабатта қолданылады.  $\omega$  параметрі - турбуленттілік жиілігі [4].

Модель келесі тасымалдау теңдеулерінен тұрады [7, 837-б.]:

$$\begin{aligned} & \partial \rho k / \partial t + (\partial \rho U_j k) / (\partial x_j) \\ & = (P_k) \sim - \beta^* \rho \omega k + \partial / (\partial x_j) (\Gamma_k \partial k / (\partial x_j)) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \rho \omega}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j \omega}{\partial x_j} = \frac{\gamma}{v_t} P_k - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + (1 - F_1) 2 \rho \sigma_{\omega^2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (8)$$

Онда

$$\Gamma_k = \mu + \mu_t \sigma_k \quad (9)$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \mu_t \sigma_\omega \quad (10)$$

$$P_k = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (11)$$

$$\widetilde{P}_k = \min(P_k; c_1 \epsilon) \quad (12)$$

$$\mu_t = \rho v_t = \rho \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega; S F_2)} \quad (13)$$

Демек, араласу функциясы  $F'$  келесі түрде

$$F_1 = \tanh \left( \left( \min \left[ \max \left( \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500v}{y^2 \omega} \right), \frac{4 \rho \sigma_{\omega^2} k}{CD_{k\omega y^2}} \right] \right)^4 \right) \quad (14)$$

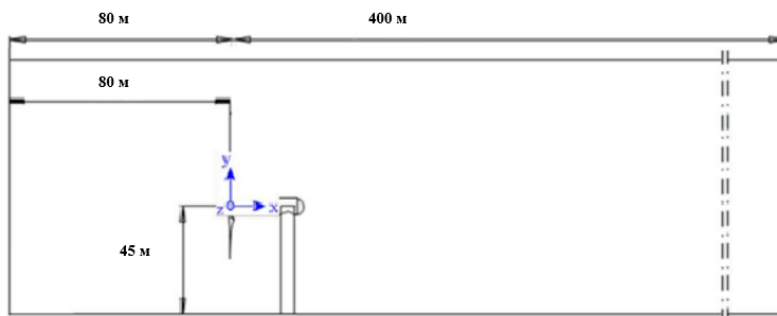
$CD_{k\omega} = \max \left( 2 \rho \sigma_{\omega^2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-10} \right)$  мұндағы у-жақын кабырғаға дейінгі арақашықтық. Бірінші араласу функциясы ішінде қолданылатын екінші араласу функциясы  $F_2$ , келесідей

$$F_2 = \tanh \left( \left( \max \left[ \frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500v}{y^2 \omega} \right] \right)^2 \right) \quad (15)$$

### **Торды құру**

Торды құру кезінде stl-файл форматында дайын жел турбинасының геометриялары пайдаланылды (Сурет 2). Жел турбинасының кеңістіктік

аймағы тікбұрышты аймақ болды (Сурет 1). Жел турбинасы айналмалы қалақтардан және айналмайтын гондоладан, хабтан, мұнарадан тұрады.



Сурет 1 – Жел турбинаны орнату эскизі

Тор айналмалы және айналмайтын екі бөліктен тұрады. Модельдеу үшін тор құру бірнеше кезеңнен тұрады. Бірінші кезең айналмалы бөліктің фондық торын құру blockmesh (негізгі X, Y,Z осьтеріне тураланған тіктөртбұрыш) [9, 10-б.]. Екіншіден, торды құрудың негізгі процесі snappyhexmesh утилитасын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Ұқсас командалар айналмалы бөліктің торын құру үшін орындалады. Үшінші кезең айналмалы және айналмайтын бөлікті біріктіру merge meshes утилитасы арқылы жүзеге асырылады [1, 158-б., 2; 1-б.].

Айналмалы бөліктің snappyhexmesh деректері жабық тордың 12 421 326 ұяшықтан, 37 566 508 беттен және 12 726 390 нүктеден (4-сурет) тұратынын көрсетеді. Бұл айналу аймағындағы турбулентті ағындарды модельдеу үшін жеткілікті жоғары ажыратымдылық. Ұяшықтар нақтылаудың төрт деңгейіне бөлінеді, ұяшықтардың көпшілігі үшінші деңгейде. Бұл тордың айналмалы бөліктің геометриясы мен динамикасына бейімделетінін көрсетеді [3].

Кеңістікті шектеу: (-400000 -128000 -47500) (80000 128000 144500)

Нүктелер саны: 12 726 390

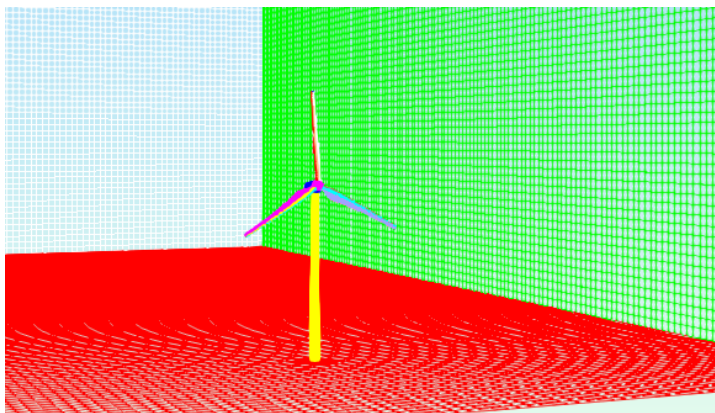
Ұяшықтар саны: 12 421 326

Қырлары: 37 566 508

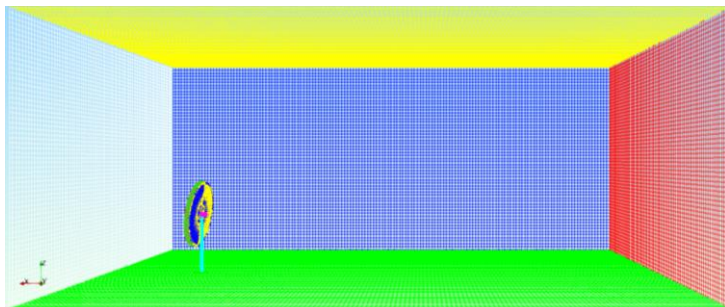
Ішкі қырлары: 37 371 557

Жел турбинасының айналмайтын бөлігінің салынған торының ақпараты оның ажыратымдылығы мен сапасы жеткілікті екенін көрсетеді

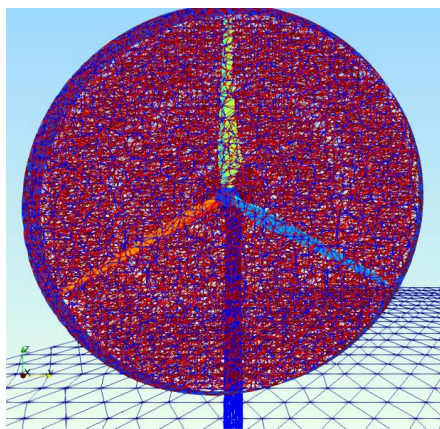
(Сурет 3). Тор турбинаның нақты өлшемдеріне сәйкес келетін кеңістіктің үлкен көлемін қамтиды. Әдетте модельдеу кезінде қалақшалар модельдеудегі ұшықты өткізіп алмауы үшін уақыт қадамы шектеулі екенін есте ұстаған жөн. Жылжымалы тор бұл шектеуден зардап шекпейді, тіпті кейбір іске асыруларда жылжымалы тор интерфейсінде бір уақыт аралығында рұқсат етілген айналу шегі болса да, мұндай аймақ қалақшаларға қарағанда әлдеқайда өрескел ажыратымдылыққа ие болуы мүмкін [8, 13-б.]. Тордың нүктелері мен ұшықтарының саны турбинаның айналасындағы ауа ағынының дәл модельдеуін қамтамасыз ету үшін жеткілікті үлкен. Тордың бүйірлері мен ішкі беттерінің саны тордың жақсы тегістелгенін және өткір бұрыштары немесе қисықтары жоқ екенін көрсетеді (Сурет 4). Жалпы, жел турбинасының айналмайтын бөлігінің тор деректері оның жоғары сапасы мен одан әрі талдауға жарамдылығын көрсетеді [3].



Сурет 2 – Жел турбинасының моделі



Сурет 3 – Кеңістіктік аймақтың айналмайтын бөлігінің торы

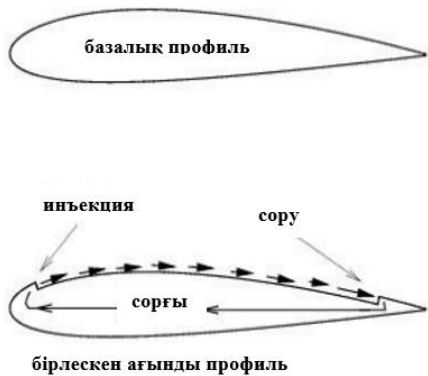


Сурет 4 – Алдыңғы ротор аймағы бар айналмалы бөлік торының түрі

### Нәтижелер мен талқылаулар

Осы зерттеу аясында CFD есептеулеріне арналған OpenFoam бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, көлденең жел турбинының сандық модельдеу жүргізілді. Жобаланған жел турбинының ротордың диаметрі 50 м, биіктігі 45 м. Сандық модельдеу өлшемдері 480м x 256м x 192м болатын тікбұрышты кеңістікте жүргізілді. Модельдеудің негізгі сипаттамалары ауа ағынының жылдамдығы 10м/с, тұтқырлығы  $\mu = 1,831 \cdot 10^{-5}$  Па·с, ротордың айналу жиілігі 1,57 рад/с немесе 15 RPM. Шешуші ретінде PISO алгоритмі (сурет 5) қолданылды. Сандық модельдеу үшін жалпы CFJ6421 қалақ профилі (Co-Flow Jet) таңдалды. CFJ аэродинамикалық профилінде энергия шығынын азайтудың бірегей механизмі бар, өйткені реактивті ағын алдыңғы жиектегі максималды сору

орнына енгізіледі, мұнда негізгі ағынның қысымы ең төмен және ағынның шығуын жеңілдетеді және негізгі ағынның қысымы ең жоғары және ағынды оңай бұруға мүмкіндік беретін артқы жиекке жақын сорылады(Сурет 5, 6) [11, 6-б.].



Сурет 5 – Базалық және CFJ Бірлескен ағынды профиль [11, 6-б.]



Сурет 6 – CFJ профильдің геометриялық эскизі



```

forces turbine-forces-and-moments write:
sum of forces:
  pressure : (-32357.9 -45.5196 -1769.7)
  viscous  : (-70.2715 -0.321715 1.07794)
  porous   : (0 0 0)
sum of moments:
  pressure : (313127 -1299.03 48751.9)
  viscous  : (-347.913 -6.20376 -58.6716)
  porous   : (0 0 0)
Time = 0.01283
Courant Number mean: 3.58718e-05 max: 0.0521014
smoothSolver: Solving for Ux, Initial residual = 1.68842e-07, Final residual = 3.62267e-12, No Iterations 1
smoothSolver: Solving for Uy, Initial residual = 2.70342e-05, Final residual = 9.80602e-10, No Iterations 1
smoothSolver: Solving for Uz, Initial residual = 7.57393e-07, Final residual = 3.18641e-11, No Iterations 1
GAMG: Solving for p, Initial residual = 0.006222688, Final residual = 8.17681e-06, No Iterations 2
time step continuity errors : sum local = 5.68337e-17, global = -2.37674e-20, cumulative = -4.74878e-19
GAMG: Solving for p, Initial residual = 3.57845e-05, Final residual = 1.70855e-06, No Iterations 3
time step continuity errors : sum local = 1.1707e-17, global = -7.72429e-20, cumulative = -5.5212e-19
GAMG: Solving for p, Initial residual = 1.02315e-05, Final residual = 7.62728e-07, No Iterations 2
time step continuity errors : sum local = 5.22619e-18, global = -3.258e-20, cumulative = -5.847e-19
smoothSolver: Solving for nuTilda, Initial residual = 7.59467e-06, Final residual = 1.7234e-11, No Iterations 1
ExecutionTime = 209.67 s. ClockTime = 236.5 s

```

Сурет 5 – PISO алгоритмі есептеу барысы

Есептеулер Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ университетіндегі жылу физикасы және техникалық физика кафедрасының жылу массасын тасымалдау процестерін модельдеу зертханасында орындалды. Есептеулер кезінде PISO шешушісі берілген уақыт қадамымен файлға әрбір қадамы үшін жазылады. Процесс әр процессорда параллель шешілгендіктен, әр процессор үшін жеке папка жасалады және соңында барлық нәтижелер decomposePar көмегімен уақыт бойынша бірыңғай деректерге біріктіріледі[5, 341-6.].

Күш моменті бойынша есептелген қуат келесі (1) формуламен есептеледі:

$$P = \tau \cdot \omega \quad (1)$$

Турбина қуатын есептеуді тексеруге арналған теориялық формула (2).

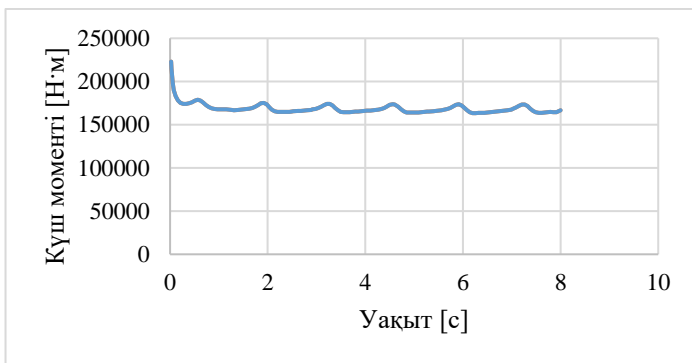
$$P = \frac{\rho S V^3 \eta_\eta \eta_\mu}{2} \quad (2)$$

мұндағы:  $\rho$  – ауа тығыздығы,  $S$  – қалақшалар айналу ауданы,  $V$  – жел жылдамдығы,  $\eta_\eta$  – турбина коэффициенті,  $\eta_\mu$  – жел генератор коэффициенті

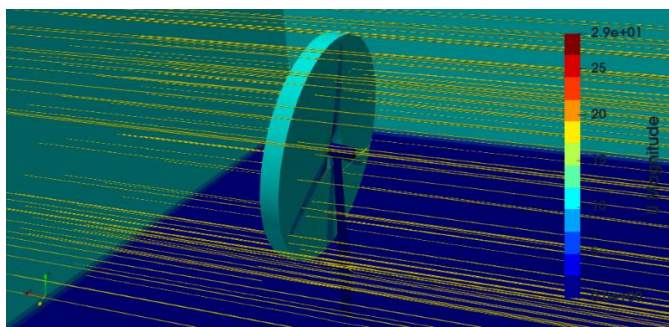
$$P = \frac{1,23 \cdot 1962,5 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,7}{2} \approx 337 \text{ кВт}$$

(2)-ші формула бойынша қуат 337 кВт. Осыдан практикалық мәліметтердің теориялық мәліметтерден ауытқуы шамамен 18 % құрайды.

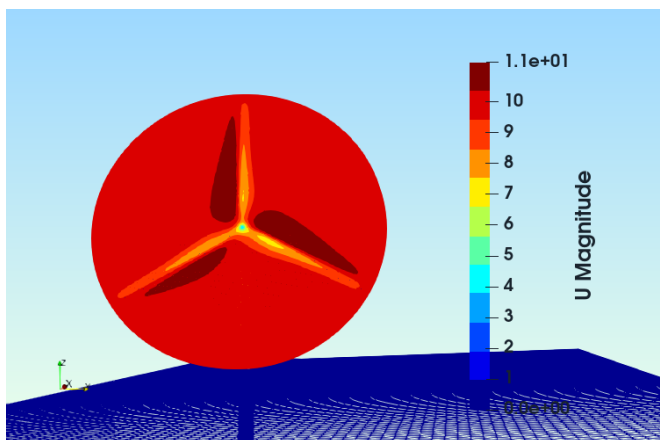
N жел турбинасының болжамды қуаты 236 кВт құрады. Алынған жел турбинасының айналу моментінің кестесі белгілі бір жұмыс жағдайында турбина 175 000 Н·м (Сурет 6) айналу моментінің шыңына жетуге қабілетті екенін көрсетеді. Бұл желдің кинетикалық энергиясын механикалық энергияға түрлендіру кезінде құрылғының жоғары тиімділігін көрсетеді. Айналу моменттің графигі максималды мәніне ротордың белгілі бір айналу жылдамдығымен қол жеткізілетінін көрсетеді, содан кейін желдің жылдамдығы жоғарылаған кезде де момент тұрақтанады. 7,8 суретте турбина бойынша ауа ағынының таралуы көрсетілген.



Сурет 6 – Уақыт бойынша күш моменті өзгерісі

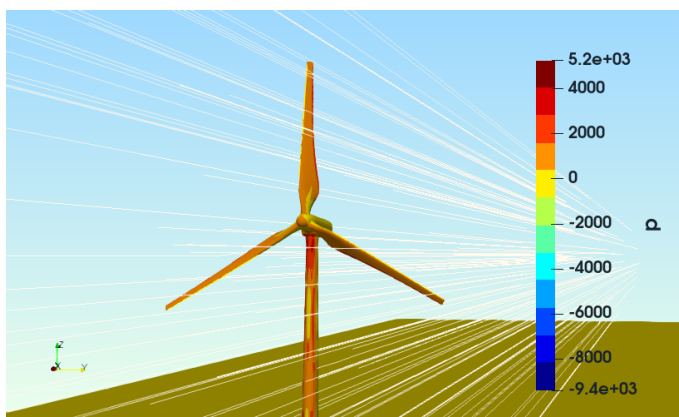


Сурет 7 – Ротормен жылдамдық ағыны

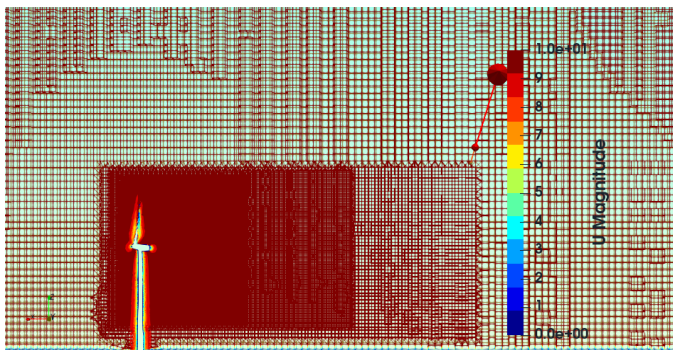


Сурет 8 – Жел турбинасына U ағын жылдамдығының әсері

Желдің төмен жылдамдығында турбина өндіре алатын қуат шектеулі. Жел жылдамдығының жоғарылауымен қуат артады. Алайда, желдің шекті жылдамдығы деп аталатын белгілі бір жылдамдыққа жеткеннен кейін, жылдамдықтың одан әрі артуы турбина дизайнының шектеулеріне байланысты қуаттың өсуіне әкелмейді. Турбина қалақтарына жел ағыны жағынан қысымның әсерін 9-суретте және желдің құйындауын у осы бойынша 10-суретте көре аламыз.



Сурет 9 – Турбинада қысымның таралуы



Сурет10 – Жел турбинасының артындағы ағынның  $u$  осінің қимасы бойынша өзгеруі

### Қаржыландыру ақпараты

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетін қаржыландыру шеңберінде орындалды (ЖРН - AP14870834)

### Қорытынды

CFD сандық модельдеуді шешу үшін турбинасы бар көлденең орнату жобасы орындалды. Жел турбинасы өзінің максималды қуатына тұрақты жел жылдамдығында 10 м/с жетеді. Жел турбинасы басқа жел жылдамдығында максимумға жетеді, содан кейін ол жылдамдық жеткенше максималды қуатты сақтай алады. Ұсынылған құрылымның максималды болжамды қуаты–236 кВт. Желдің жылдамдығы шығыс қуатын арттыратындықтан, қалақтардың көлбеу бұрышы ұлғайған сайын шығыс қуаты азаяды. CFD нәтижелері дизайн үшін ең жоғары момент 175 000 Н·м екенін көрсетті. Әдетте, осы типтегі модельдерді электр энергиясын өндірудің оңтайлы өнімділігіне қол жеткізу үшін жел турбиналарының жұмыс жағдайларының кең ауқымындағы өнімділігін бағалау үшін пайдалануға болады. Алынған практикалық сандық 3D модельдеу мәліметтердің теориялық мәліметтерден ауытқуы шамамен 18 % құрады.

Мақалада алынған эксперимент нәтижелері OpenFoam пакетін пайдаланып стационарлық емес ауа ағынымен көлденең үш қалақты жел турбинасын 3D модельдеу үшін тор салу әдісінің тиімділігін көрсетеді.

## REFERENCES

- 1 **Christopher J. G.** CFD Direct Ltd. User Guide // Version 5.0. 2017. P. 20–77. <https://doc.cfd.direct/openfoam/user-guide-v11/index>.
- 2 **Greenshields, C.** Openfoam – 2.2.0: snappyhexmesh \_ feature snapping // 2013. <https://openfoam.org/release/2-2-0/snappyhexmesh-features-layers-baffles/>.
- 3 **Greenshields, C.** Openfoam - 2.3.0: Arbitrary mesh interface // 2014. <https://openfoam.org/release/2-3-0/non-conforming-ami/>.
- 4 **Hoem, M. E.** Implentation and testing of an actuator disk in openfoam // Project work. // The Norwegian University of Science and Technology. – 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22196-6\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22196-6_48).
- 5 **Lloyd, C.** Sampling for graphs in parallel for ami case // ACM Computing Surveys // 2017. Volume 16. Issue 3. P 319-348. <https://doi.org/10.10145/2514.2515>.
- 6 **Stergiannis, N., Lacor, C., Beeck, J. V., Donnelly, R.** Cfd modeling approaches against single wind turbine wake measurements using rans // Journal of Physics: Conference Series 753. 2016 June – №3 <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24976.81928>.
- 7 **Uchida, T.** CFD Prediction of the Airflow at a Large-Scale Wind Farm above a Steep, Three-Dimensional Escarpmen // Energy and Power Engineering. 2017. – №9. – P. 829-842. <https://doi.org/10.4236/epe.2017.913052>.
- 8 **Van der Auweraert, J.** Modelling of wind turbine wake with a sliding mesh // Master’s thesis. Delft University of Technology. 2015. P. 5–15. <https://doi.org/10.1002/we.2821>.
- 9 **Venugopalan, S. G. R., Chandar, D., Gopalan, H.** A Parallel Implementation of blockMesh for Quick Generation of Huge Meshes // Conference: 6th ESI OpenFOAM. User Conference. 2018. [https://www.researchgate.net/publication/328577387\\_A\\_Parallel\\_Implementation\\_of\\_blockMesh\\_for\\_Quick\\_Generation\\_of\\_Huge\\_Meshes](https://www.researchgate.net/publication/328577387_A_Parallel_Implementation_of_blockMesh_for_Quick_Generation_of_Huge_Meshes).
- 10 **Yunchao Yang, Gecheng Zha.** Super-Lift Coefficient of Active Flow Control Airfoil: What is the Limit? // Conference: 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting. – 2017. – P. 9964-9999. <https://doi.org/10.2514/6.2017-1693>.

28.03.24 ж. баспаға түсті.

13.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

A. S. Askarova, Bolegenova, V. Y. Maksimov, \*E. Medetuly  
Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 28.03.24.

Received in revised form 13.05.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## FEATURES OF BUILDING A GRID FOR 3D MODELING OF A WIND TURBINE

*Due to the projected shortage of fossil fuels and their negative impact on the environment, energy production from renewable sources is currently the main focus in the energy sector. Wind energy is one of the potential and rapidly growing sources of green energy. This is, in particular, due to the fact that the cost of wind energy production has decreased by more than five times over the past two decades. This research aims to theoretically and computationally simulate a horizontal axis wind turbine using the OpenFoam software package. The use of CFD numerical modeling methods made it possible to perform a detailed analysis and assessment of the performance of a wind turbine at a wind speed of 10 m/s. A technique for studying the flow structure around a wind turbine using numerical methods of gas dynamics based on solving a system of Navier-Stokes equations is considered. Used mathematical modeling methods using the  $k-\omega$  SST turbulence model. The features of the modeling grid, which are of key importance for the accuracy and reliability of the results, are also considered. Thus, modeling to evaluate the efficiency of wind turbines prior to their production helps to improve their performance and optimize the process of electricity generation.*

*Keywords: 3D modeling, wind turbine, unstable, grid, solver, utilities.*

A. С. Аскарова, С. А. Болегенова, В. Ю. Максимов, \*Е. Медетулы  
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,

Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 28.03.24.

Поступило с исправлениями 13.05.24.

Принято в печать 02.06.24.

### **3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВЕТРЯНОЙ ТУРБИНЫ ТУРБУЛЕНТНЫМ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ПОТОКОМ**

*В связи с прогнозируемым дефицитом ископаемых видов топлива и их негативным воздействием на окружающую среду, в настоящее время производство энергии из возобновляемых источников является основным направлением в энергетическом секторе. Энергия ветра является одним из потенциальных и быстро растущих источников зеленой энергии. Это, в частности, связано с тем, что стоимость производства энергии ветра за последние два десятилетия снизилась более чем в пять раз. Это исследование направлено на то, чтобы теоретически и вычислительно смоделировать ветроэнергетическую турбину с горизонтальной осью с использованием программного пакета OpenFoam. Использование методов численного моделирования CFD позволило выполнить детальный анализ и оценку производительности ветряной турбины при скорости ветра 10 м/с. Рассмотрена методика исследования структуры потока вокруг ветряной турбины с использованием численных методов газовой динамики, основанных на решении системы уравнений Навье-Стокса. Используются математические методы моделирования с помощью модели турбулентности  $k-\omega$  SST. Также рассмотрены особенности сетки моделирования, которые имеют ключевое значение для точности и достоверности результатов. Таким образом, моделирование для оценки эффективности ветряных турбин до начала их производства, способствует повышению их эксплуатационных характеристик и оптимизации процесса выработки электроэнергии.*

*Ключевые слова:* 3D моделирование, ветряная турбина, нестационарное, сетка, решатель, утилиты.

FTAMP14.37.27

<https://doi.org/10.48081/UWOH5809>

**\*З. А. Баймаханова, А. Б. Тлегенов, А. М. Айтұғанова, Г. Р. Балходжаева, А. Жансерікқызы**

*Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,*

*Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.*

\*e-mail: [zina-1965@mail.ru](mailto:zina-1965@mail.ru)

## **АУЫЗ СУ МЕН АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУҒА АРНАЛҒАН ОЗОН ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ПРОЦЕСТЕРІ МЕН АППАРАТТАРЫ**

Бұл мақалада ауыз су мен ағынды суларды озондау арқылы тазартудың теориялық ережелері мен практикалық зерттеулері келтірілген. Қызылорда облысы аумағының экологиялық жағдайына улы компоненттердің зиянды әсерін бағалау мақсатында ауыз су мен ағынды сулардың ластануының экологиялық жағдайына талдау жүргізілген, разрядты аймақты алдын ала ауа дайындаусыз атмосфералық ауамен үрлеу тәсілімен ерекшеленетін қоректендірудің озондаушы элементі және тоқтың резонанстық күшеюі әзірленген; табиғат қорғау шараларының талаптарына сәйкес келетін сапалы су тазартуды алу мақсатында жоғары жиілікті озонатордың тәжірибелік сынақтарын әзірлеу және жүргізу.

Зерттеу нысаны-экономика салаларының қажеттіліктерін және халықтың шаруашылық-ауыз су қажеттіліктерін қанағаттандырудың негізгі көзі болып табылатын Сырдария өзені. Зерттеу әдістеріне ауыз су мен ағынды суларды тазартудың заманауи әдістері мәселелері бойынша әдеби деректер мен тәжірибелерді талдау және жалпылау; ауыз су мен ағынды суларды тазарту және дезинфекциялау бойынша патенттік-ақпараттық іздеу; экологиялық зерттеулерде қолданылатын суды сапалы және сандық талдаудың аналитикалық, графикалық



*әдістері; озон технологиясы процестерін зерттеудегі электрлік өлшеу әдістері кіреді. Озон технологиясының қолданыстағы процестері мен аппараттарын салыстырмалы талдауда тәждік разрядтағы озонаторлардың маңызды артықшылықтары анықталды: дизайнның қарапайымдылығы, шағын өлшемдер, экологиялық қауіпсіздік, озонның жоғары өнімділігі, энергияның аз шығыны, ауа дайындығының болмауы.*

*Кілтті сөздер: тазалау әдістері, ауыз және ағынды сулар, озон, озонизация, озонизациялаушы элемент.*

### **Кіріспе**

Қазіргі уақытта әлемдегі су проблемаларының шиеленісуіне байланысты мемлекеттерді орнықты сумен қамтамасыз ету мәселелері Ұлттық қауіпсіздік мәселелері контекстінде қаралуда. Қазақстанды сумен қамтамасыз етудегі өткір жағдай су ресурстарының шектелуіне, олардың аумақ бойынша біркелкі бөлінбеуіне, сондай-ақ олардың ластануының жоғары дәрежесіне байланысты. Су ресурстары шектеулі республиканың оңтүстігі мен оңтүстік-шығысында сумен қамтамасыз ету проблемасы елеулі аландаушылық туғызады.

Қызылорда облысында жер үсті сулары экономика салаларының қажеттіліктерін қанағаттандырудың негізгі көзі болып табылады. Негізгі су тұтынушылары ретінде ауыл шаруашылығы, өнеркәсіп және жылу энергетикасын жатқызамыз.

Сырдария өзенінің коллекторлық-дренаждық және ағынды сулармен ластануы экологиялық жағдайды қиындатып, жалпы өңірдегі адамдардың өмірі мен денсаулығының санитарлық жағдайын нашарлатты. Таза жер асты суларының тапшылығынан жекелеген елді мекендердің тұрғындары жергілікті су көздері мен Сырдария өзенінің суын шаруашылық – ауыз су мақсаттары үшін пайдалануға мәжбүр. Су құбырындағы облыс бойынша микробиологиялық нормативтерге сәйкес келмейтін ауыз су сынамаларының үлес салмағы 5%, ал орталықтандырылмаған көздерде 18 % құрайды. Су қоймаларынан іш сүзегі, паратиф, өткір ішек инфекцияларының қоздырғыштары бөлінеді, бұл халықтың сумен берілетін жұқпалы аурулармен ауыру ықтималдығын арттырады. Осыған байланысты экологиялық таза технологияларды әзірлеу және енгізу

мәселелері басымдыққа айналуға, олардың арасында ластаушы заттардың тиімді тотығуы мен дезинфекциялық әсерді біріктіретін озон технологиясы маңызды орын алады. Бұл технологиялық тізбектің негізгі бөлігі жоғары сапалы ауыз сумен қамтамасыз ететін, қоршаған ортаға зиян келтірмей ауыз су мен ағынды суларды озонмен тазарту мен зарарсыздандыру үшін арналған әртүрлі әдістер мен құрылғылар болып табылады.

### **Материалдар мен әдістер**

Зерттеу әдістеріне ауыз су мен ағынды суларды тазартудың заманауи әдістері мәселелері бойынша әдеби деректер мен тәжірибелерді талдау және жалпылау; ауыз су мен ағынды суларды тазарту және зарарсыздандыру бойынша патенттік-ақпараттық іздеу; экологиялық зерттеулерде қолданылатын судың сапалық және сандық талдауының қонақ мемлекеттік сертификатталған статистикалық, аналитикалық, графикалық әдістері; озон технологиясының процестерін зерттеудегі электрлік өлшеу әдістері кіреді.

Өнеркәсіптің, коммуналдық шаруашылықтың және ауыл шаруашылығының қажеттіліктеріне пайдаланылған су тек ластанбайды, су объектілеріне түскенде оларды да ластайды, су объектілерінің өзін-өзі тазарту қабілетін төмендетеді. Өзін-өзі тазарту мүмкіндігі шексіз емес, сондықтан су қоймасына ағызуға рұқсат етілген ластану нормаларынан асып кету су қоймасының қайтымсыз өзгерістеріне және жойылуына әкелуі мүмкін.

Табиғи және ағынды сулардың химиялық құрамы туралы мәліметтерді қажет ететін мәселелердің алуан түрлілігі судың өмірдегі өте маңызды рөлінен және оның жер қыртысында және табиғи су бассейндерінде жүретін процестерде алатын маңыздылығынан туындайды [1].

Ауыз су мен ағынды суларды талдау үшін кондуктометриялық, потенциометриялық, фотометриялық, амперометриялық титрлеу, жалын фотометриясы, атомдық абсорбциялық спектрофотометрия, хроматографиялық талдау, нейтронды белсендіру талдауы сияқты аспаптық талдау әдістері кеңінен қолданылады.

Ауыз су мен ағынды суларды талдау әдістерін одан әрі дамытудың негізгі міндеттері, әрине, қолда бар әдістер ассортиментін судың құрамы мен сапасын сипаттайтын нормаланған көрсеткіштер санымен салыстырудан туындайды.

Қазіргі уақытта тазартуға үлкен талаптар қойылады. Бұл физика-химиялық тазартудың жоғары тиімді әдістерін жасауға, биологиялық тазарту процестерін интенсификациялауға, механикалық, физика-химиялық және биологиялық тазарту әдістерінің үйлесімі бар технологиялық схемаларды әзірлеуге және технологиялық процестерде тазартылған суларды қайта пайдалануға әкеледі [2].

Озондау-суды зарарсыздандыру және органолептикалық көрсеткіштерді жақсарту мақсатында оны өңдеудің перспективалы әдістерінің бірі. Суды озонмен зарарсыздандыру бойынша алғашқы тәжірибелерді 1886 жылы Францияда де Меритенс жүргізді. Содан бері озонды қолдануға байланысты физика-химиялық, технологиялық және гигиеналық мәселелерді зерттеуге бағытталған отандық және шетелдік ғалымдардың зерттеулері тоқтаған жоқ. 1977 жылы бүкіл әлемде 1000-нан астам қондырғы жұмыс істейді. Қазіргі уақытта Еуропадағы ауыз судың 95 % озондау дайындығынан өтеді. Соңғы 20 жылда озонды қолдану салалары кеңейіп, бүкіл әлемде жаңа әзірлемелер жүргізілуде. Қазіргі уақытта ірі озонаторлық станциялар ТМД-да, Францияда, АҚШ-та, Германияда, Канадада, Швейцарияда және басқа елдерде жұмыс істейді [3].

Суды озондау суды зарарсыздандырудың басқа әдістеріне қарағанда айтарлықтай артықшылықтарға ие: қондырғының ықшамдылығы, оларды пайдалану ыңғайлылығы, көлемді реагенттік шаруашылықтың болмауы, процесті толық автоматтандыру мүмкіндігі, суды өңдеудің жоғары әсері және техникалық-экономикалық көрсеткіштер.

Озондау технологиясының танымалдығы экологиялық қауіпсіздік тиімділігінің теңдесі жоқ үйлесіміне байланысты үнемі өсіп келеді. Озонды ықтимал қолдану тізімі кеңейтілуде: ауыл шаруашылығында, тұрмыстық және өнеркәсіптік ағынды суларды тазарту қондырғыларында, тамақ өңдеу өнеркәсібінде және басқаларында. Озонды қолданудың өзіндік ерекшелігі және оңтайлы шешімі бар.

Озонды суды дайындау үшін қолданған кезде озонның тотықтырғыш және дезинфекциялық қасиеттері қолданылады. Озон бастапқыда тек дезинфекциялау үшін қолданылған, содан кейін ол иісті, хромды және коспаларды кетіру үшін қолданыла бастады.

Әр түрлі әдеби көздерде суды озондау көбінесе суды бактериялық ластанудан тазартудың басқа әдістеріне тән кемшіліктері жоқ

дезинфекциялау әдістерінің бірі ретінде қарастырылады. Озондау тез және сенімді дезинфекцияны қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар судың органолептикалық қасиеттерін айтарлықтай жақсартады, өйткені озонмен өңдеу нәтижесінде судың дәмі, иісі және түсі жойылады, сонымен қатар еріген оттегінің мөлшері жиі артады, бұл таза табиғи көздерді сипаттайтын негізгі қасиеттердің бірін тазартылған суға қайтарады [4].

Кейбір жағдайларда суды озондау ластанған жер үсті көздерінің жағымсыз дәмі мен су иістерін жоюдың негізгі мақсатымен пайдаланылуы мүмкін, оларды кейде шаруашылық – ауыз су тұтыну үшін қолдануға тура келеді. Ластанбаған, бірақ айтарлықтай хроматикалық суларды озонмен ағартуға болады, оның әсері осыған байланысты өте тиімді. Озонның суды ағарту қабілеті Еуропаның солтүстігінде – Швецияда, Норвегияда және Финляндияда ерекше маңызға ие, мұнда көптеген сантехникалық жүйелер жоғары хроматикалық су алады; соңғысы суда өсімдік тектес гумин қышқылдарының болуынан болады. Озон суының хромын жою ТМД, АҚШ, Англия және Германияда өте маңызды.

Жоғарыда айтылғандар озондау суды өңдеудің заманауи әдісі екенін көрсетеді, өйткені ол өзінің әсерін бактериологиялық, физикалық және органолептикалық қатынастарда бір уақытта көрсетеді [5].

Бактериологиялық тұрғыдан озон судың органикалық ластануына тікелей байланысты жоғары споридтік әсерге ие. Ғалымдардың зерттеулері озонның полиомиелит вирусын бейтараптандыру үшін әдеттегі дезинфекциялау құралдарымен (хлор және хлор диоксиді), сондай-ақ кисталар мен ілеспе бактериялармен салыстырғанда артықшылықтарын анықтады.

Физикалық тұрғыдан алғанда, озондаудан кейінгі су айтарлықтай сапалы өзгерістерге ұшырайды. Озондау кезінде су жақсы газдалады, бұл оны тұрақты және ішуге ыңғайлы етеді.

Органолептикалық тұрғыдан озондалған суда ешқандай дәм мен иіс пайда болып қана қоймайды, керісінше өңделген суда бұрын болған дәм мен иістің барлық іздері жойылады.

Химиялық тұрғыдан алғанда, суда еріген және белгілі бір дәрежеде оның тағамдық қасиеттерін анықтайтын минералдар озонданғаннан кейін өзгермейді. Сонымен қатар, озонмен емдеу суға қосымша бөгде заттар мен

химиялық қосылыстар бермейді. Суда тек оған түс, дәм мен иіс беретін заттардың озондау өнімдері қалады [6].

Дәстүрлі тазарту әдістері соңғы өнімнің – ауыз судың сапасын нашарлататын микробиологиялық ластанудың айтарлықтай мөлшерін жоймайды. Тіпті белсендірілген көмірдің адсорбциясы пестицидтер мен көмірсутектерді жоюдың қанағаттанарлық шешімін ұсынса да, қажетті тазарту тиімділігін қамтамасыз етпейді, бірақ суды фенолдардан, жуғыш заттардан және хлороформнан алынған заттардан тазарту үшін озонмен бәсекеге түсе алмайды, олардың құрамына негізінен көмірсутектер кіреді.

### **Нәтижелер және талқылау**

Негізінен ауыз суды тазарту үшін қолданылатын озонның күшті бактерицидтік қасиеті бар екені белгілі. Ол ең күшті тотықтырғыш болғандықтан, маңызды қасиетке ие - оны қолданғаннан кейін қоршаған ортаға зиян келтіруі мүмкін жанама әсерлер болмайды. Озон өндіру үшін оттегі мен құрамында оттегі бар газдардағы электр разрядтарында озон түзілу принциптеріне негізделген озонизаторлар мен озон генераторлары қолданылады.

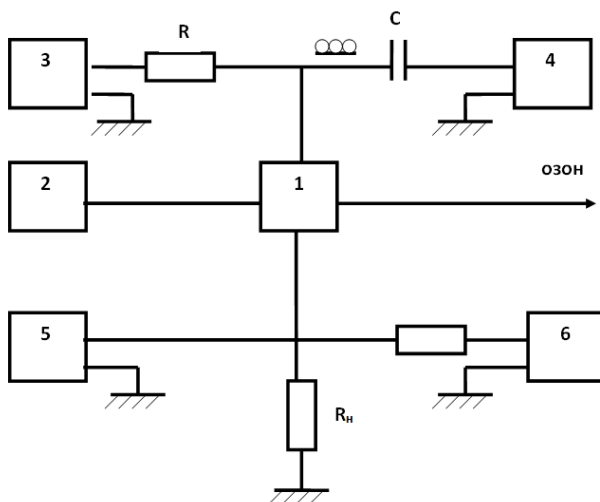
Озон шығарудың өнімділігін арттыру үшін тәжді разрядты озонатор (ТРО) типті озонизаторлар автономды, әрқайсысы жеке жұмыс істейтін озонаторлардың көп модульді қосылымын пайдаланады және озонатордың шығысында ғана өндірілген озонның қорытындысы шығарылады [7].

Автор цилиндрдегі микро сымнан тәж разрядында озон өндіру принципі бойынша жұмыс істейтін озонизациялаушы элементті жасады. Озон шығару және төмен меншікті энергия тұтыну тұрғысынан жоғары өнімділікке қол жеткізу үшін бұл құрылғыда атмосфералық ауа коронарлық разряд аймағы арқылы ламинарлы режимде үрленеді, тәж разряды оң полярлық тұрақты кернеу көзімен қозғалады, содан кейін сыртқы электродқа теріс полярлықтың айналымы кернеуі қолданылады.

Озондаушы элементте сыртқы цилиндрлік электрод, сыртқы цилиндрге коаксиалды түрде орналасқан сым түріндегі тәж электрод кіреді. Сыртқы цилиндр екі ұшында озон-ауа қоспасының ауаның кіруі мен шығуын қамтамасыз ететін екі втулкамен қоршалған. Корона сымын бекіту үшін фторопластикалық втулкалар қолданылады. Оң полярлы тікелей кернеу сыртқы электродқа балласт кедергісі R арқылы беріледі, ал айналымы кернеу C бөлгіш сыйымдылық арқылы беріледі. Біріктірілген

қуат көзі бар озонизациялаушы элементтің функционалдық диаграммасы 1-суретте көрсетілген. Атмосфералық ауа кіріс гильзасы арқылы электродтар арасындағы кеңістікке итеріледі және шығыс тесіктері втулкалар арқылы шығады. Бұл ретте сыртқы электродқа R кедергісі (50-100 мОм) арқылы тұрақты кернеу (3-4 кВ) беріледі, бұл тәждің шегін қамтамасыз етеді, және жеткілікті амплитудалық (2-3 кВ) айнымалы кернеудің оң жарты толқындарын беру электродаралық кеңістікте тәжді қоздыру мүмкіндігін береді.

Корона саңылауын қуатпен қамтамасыз етудің бұл комбинациясы озон түзуге арналған меншікті энергия шығыны ( $\text{г/кВт}\cdot\text{сағ}$ ) тұрғысынан оңтайлы болып табылады. R (50-100 мОм) мәнін сәйкес таңдауы бар тұрақты кернеу, тыныш разрядтың микротоктары ағып жатқанда және тәуелсіз электронды көшкіндердің пайда болуы үшін жағдайлар болмаған кезде теріс тәждің шекті режимін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.



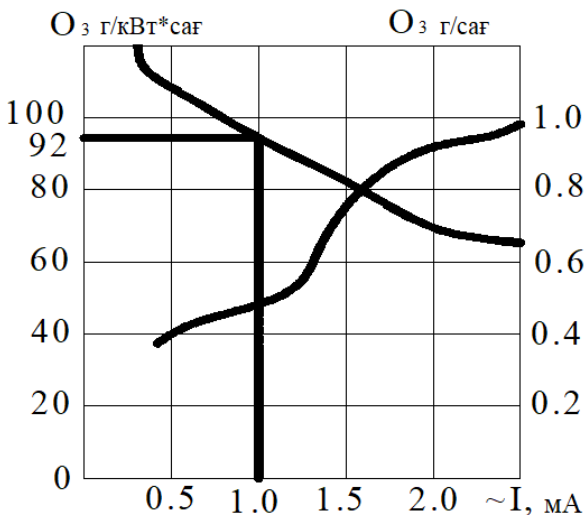
Сурет 1 – Біріктірілген корек көзі бар озонизациялаушы элементтің функционалдық диаграммасы

Озондау элементінің келесі геометриялық параметрлері бар:

Сым ұзындығы -140 мм, цилиндрдің ішкі диаметрі -10 мм, тәж сымының диаметрі -100 микрон. Корона шегі 3,5 кВ, ал айнымалы ток амплитудасы 3 кВ. Озонизаторды ауамен 37,2 м/с жылдамдықпен және 1 мА токпен тазартқанда озонизатордың өнімділігі сағатына 0,5 г озонды құрайды. Меншікті энергия шығыны 1 кВт/сағ үшін 92 г озонды құрады.

2-суретте озонның өнімділігі мен энергия шығысының озондаушы элементті қоректендіретін айнымалы кернеудің оң жарты толқынының амплитудасына тәуелділігі көрсетілген.

Бұл көрсеткіштен шығатындай, разряд тогы артқан сайын озондық элементтің озон бойынша өнімділігі де артады, ал оның энергия шығаруы монотонды түрде төмендейді. Озондаушы элементтің сынау нәтижелері тәждің және сыртқы электродтардың диаметрлерінің кішіреюіне байланысты жоғарылау үрдісіне ие, бұл озонның жеткілікті өнімділігімен жоғары энергия шығаруға ие озонизациялаушы элементтің оңтайлы нұсқасын таңдау қажет екенін білдіреді.



Сурет 2 – Біріктірілген қоректендіру көзі бар озонизациялаушы элементтің өнімділігі мен энергия шығысы

ОВЧ-1 типті жоғары жиілікті озонизатор әзірленді, мұнда электрлік тосқауыл шыныдан жасалған, қалыңдығы 1 мм, озонатордың

озонизациялаушы элементінің тәжі мен сыртқы электродтары арасында орналасқан.

Озонизаторды қуаттандыру үшін ұзақтығы шамамен 15 м/сек және қайталану жиілігі 3 кГц-ке дейінгі жоғары вольтты импульстар қолданылады. Кернеу импульстерінің жиілігін реттеу мүмкіндігіне байланысты озонизатордың жұмыс режимін таңдау кезінде жиілікті реттеу арқылы озонизатордың озонизациялаушы элементінде ток резонансына қол жеткізу қажет, бұл озон шығарудың ұлғаюына әкеледі. Озонизациялаушы ұшықтың сыйымдылығы 1200 пФ болған кезде ток резонансы 2,4 кГц жиілікте болатыны анықталды.

Озонаторды шығарғаннан кейін «Озон» компаниясы оның ауыз суға және ағынды суларды тазартуға дайындығын тексерді. ОВЧ-1 типті озонизатордың тәжірибелік сынақтарының нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Ауыз суды тазарту нәтижелері

Компонент тер атауы	Қауіп тілік класы	максималды рұқсат етілген концентрация	озонға дейін		озоннан кейін		Тиімділігі %
			$C_{\text{факт}}$ шоғырлану	К, шекті рұқсат етілген концентрациядан асу коэффициенті	$C_{\text{факт}}$ шоғырлану	К, шекті рұқсат етілген концентрациядан асу коэффициенті	
Түсі	2	20	2 6	1,3	8	0,4	4 8
Бұлыңғырлығы	2	2	2 ,9	1,45	1 ,16	0,4	4 0
Нитритті азот	2	1, 0	2	2	0 ,002	0,01	5 1
Нитрат азоты	2	5, 0	2 ,2	0,4	1 ,4	0,6	2 7
Фтор	2	1, 5	0 ,2	0,13	0 ,13	0,65	3 2
Құрғақ қалдық	3	70 0	7 03	1,01	6 92	0,9	2 0



Хром	3	0,	0	0,2	0	0	1
		05	,01		,0		00
Жалпы қаттылық	4	7	1	1,8	6	0,5	5
			2,3		,1		0
Хлор идтер	4	35	2	0,8	2	0,9	3
		0	99,5		70,7		0
Суль фаттар	4	50	3	0,8	3	0,9	2
		0	92,0		64,0		0

1-кестедегі мәліметтерге сәйкес, химиялық көрсеткіштер бойынша судың ластануының шартты интегралдық көрсеткіші  $P_v = 1,7$  «әлсіз», ал органолептикалық (түсі, бұлыңғырлығы) және бактериологиялық көрсеткіштері бойынша ластану индексі – 2, «жоғары», содан кейін олар СанЕмН сәйкес емес. Озон сыналған судың барлық дерлік компоненттеріне 40 % деңгейінде әсер етті. Озонның ең көп әсері түске, бұлыңғырлыққа, қаттылыққа (46 %), ал суда ішек бактерияларының болуы 0,3 кТБ болды, бұл суды озонизациялау арқылы болдырмайды.

### Қорытынды

Жаңа озонизаторларды әзірлеу экология және қоршаған ортаны қорғау мәселелерін шешу үшін озон технологиясын пайдалану инфрақұрылымын дамытудың бір бөлігі ретінде қызмет етеді, бұл келесі қорытындыға әкеледі:

1 Ауыз және сарқынды суларды тазарту мен залалсыздандырудың дәстүрлі және балама әдістері мен әдістерін талдау негізінде озонизацияны қолдану су объектілеріндегі ластаушы заттардың элементтік құрамын айтарлықтай төмендетеді және жоғары сапалы суды тазарту тиімділігін арттырады.

2 Озон технологиясының қолданыстағы процестері мен құрылғыларын салыстырмалы талдау кезінде тәжді разрядты озонизаторлардың маңызды артықшылықтары анықталды: конструкцияның қарапайымдылығы, шағын өлшемдері, экологиялық қауіпсіздігі, озонның жоғары шығуы, төмен меншікті энергия тұтынуы, ауаны тазартудың болмауы.

3 Біріктірілген қуат көзімен және импульстік тоқты күшейтетін тәж разрядына негізделген озонизациялаушы элемент әзірленді, ол озон өндірісінің тиімділігін арттыруға және жалпы энергия шығындарын азайтуға мүмкіндік берді.

4. Қоршаған ортаны қорғау шараларының талаптарына сәйкес келетін жоғары сапалы суды тазарту мақсатында жоғары жиілікті озонизатордың тәжірибелік сынақтарын жүргізу.

## ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Мальковский, И. М.** Водные ресурсы Казахстана – как фактор национальной безопасности [Текст] // Экология & устойчивое развитие. – Алматы, 2003. – №10. – С.44–49.

2 **Кемел, М.** Водные ресурсы Казахстана: проблемы и пути решения [Текст] // Экология & устойчивое развитие. – Алматы, 2003. – №9. – 74 с.

3 **Веселов, В. В., Касымбеков, Д. А., Махмутов, Т. Т.** Подземные воды Приаралья и перспективы их использования [Текст] // Экология и устойчивое развитие. – Алматы, 2002. – №6. – С. 32–33.

4 **Шуберт, С. А., Демин, И. И., Драгинский, В. Л.** Озонирование как метод улучшения качества воды [Текст] // Водоснабжение и санитарная техника. – М. : Стройиздат, 1985. – №1. – 32 с.

5 **Карюхина, Т. А., Чурбанова, И. Н.** Контроль качества воды [Текст] –М. : Стройиздат, 1986. – 236 с.

6 **Лурье, Ю. Ю.** Унифицированные методы анализа вод [Текст] // Химия. – М. , 1973. – 376с.

7 **Кульский, Л. А., Строкач, П. П.** Технология очистки природных вод [Текст]. – Киев : Вища школа, Головное издательство, 1981. – 328 с.

8 **Абишев, М. А., Бахтаев, Ш. А., Боканова, А. А., Кожаспаев, Н. К., Баймаханова, З. А.** Предпатент РК №3269. Способ усиления электрического тока в озонаторе. – Алма-Ата, 1975. №10. – 211 с.

9 **Бахтаев, Ш. А., Боканова, А. А., Баймаханова, З. А.** Предпатент РК №12038. Способ измерения пузырьков газа в жидкости. – 2003. – №12. –5с.

10 **Бахтаев, Ш. А., Боканова, А. А., Нурпеисова, М. Б., Баймаханова, З. А.** Пузырьковые характеристики газосодержащих жидкостей [Текст]. – Алматы : КИМС, 2004. – №1. – С. 3-4.

## REFERENCES

- 1 **Mal'kovskij, I. M.** Vodnye resursy Kazahstana - kak faktor nacional'noj bezopasnosti [Water resources of Kazakhstan – as a factor of national security] [Text]. // Jekologija & ustojchivoe razvitie. – Almaty, 2003. – №10. – P. 44–49.
- 2 **Kemel, M.** Vodnye resursy Kazahstana: problemy i puti reshenija [Water resources of Kazakhstan: problems and solutions] [Text]. Jekologija & ustojchivoe razvitie. – Almaty, 2003. – №9. – 74 p.
- 3 **Veselov, V. V., Kasymbekov, D. A., Mahmutov, T. T.** Podzemnye vody Priaral'ja i perspektivy ih ispol'zovanija [ Underground waters of the Aral Sea region and prospects for their use] [Text]. Jekologija i ustojchivoe razvitie. - Almaty, 2002. – №6. – P. 32–33.
- 4 **Shubert, S. A., Demin, I. I., Draginskij, V. L.** Ozonirovanie kak metod uluchshenija kachestva vody [Ozonation as a method to improve water quality] [Text]. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. – Moscow : Strojizdat, 1985. – №1. – 32p.
- 5 **Karjuhina, T. A., Churbanova, I. N.** Kontrol' kachestva vody [Water quality control] [Text] – Moscow : Strojizdat, 1986. –236p.
- 6 **Lur'e, Ju. Ju.** Unificirovannye metody analiza vod [ Unified methods for water analysis] [Text]. Himija. – Moscow, 1973. – 376 p.
- 7 **Kul'skij, L. A., Strokach, P. P.** Tehnologija oчитki prirodnyh vod [Natural water treatment technology] [Text] – Kiev : Vishha shkola, Golovnoe izdatel'stvo, 1981. – 328 p.
- 8 **Abishev, M. A., Bahtaev, Sh. A., Bokanova, A. A., Kozhaspaev, N. K., Bajmahanova, Z. A.** Predpatent RK №3269. Sposob usilenija jelektricheskogo toka v ozonatore [Pre-patent RK №3269. Method for amplifying electric current in an ozonator]. – Alma-Ata, 1975. – №10. – 211 p.
- 9 **Bahtaev, Sh. A., Bokanova, A. A., Bajmahanova, Z. A.** Predpatent RK №12038. Sposob izmerenija puzyr'kov gaza v zhidkosti [Pre-patent RK №12038. Method for measuring gas bubbles in a liquid]. – 2003. – №12. – 5p.
- 10 **Bahtaev, Sh. A., Bokanova, A. A., Nurpeisova, M. B., Bajmahanova, Z. A.** Puzyr'kovye harakteristiki gazosoderzhashhih zhidkostej [Bubble characteristics of gas-containing liquids] [Text]. –Almaty : KIMS, 2004. – №1. P. 3–4.

11.04.24 ж. баспаға түсті.

12.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\*З. А. Баймаханова, А. Б. Тлегенов, А. М. Айтуганова, Г. Р. Балходжаева,  
А. Жансерикқызы

*Кызылординский университет имени Коркыт Ата,*

*Республика Казахстан, г. Кызылорда.*

Поступило в редакцию 11.04.24.

Поступило с исправлениями 12.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ОЗОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**

*В данной статье представлены теоретические положения и практические исследования очистки питьевых и сточных озонированием, проведен анализ экологического состояния загрязнений питьевых и сточных вод с целью оценки вредного влияния токсичных компонентов на экологическую ситуацию территории Кызылординской области, разработан озонирующий элемент питания и резонансного усиления тока, отличающиеся способом продувки разрядной зоны атмосферным воздухом без предварительной воздухоподготовки; разработка и проведение опытных испытаний высокочастотного озонатора с целью получения качественной водоочистки, соответствующей требованиям природоохранных мер.*

*Объект исследования – река Сырдарья, которая является основным источником удовлетворения потребностей отраслей экономики и хозяйственно-питьевых нужд населения. Методы исследования включают анализ и обобщение литературных данных и практики по вопросам современных методов очистки питьевых и сточных вод; патентно-информационный поиск по очистке и обеззараживанию питьевых и сточных вод; аналитические,*

*графические методы качественного и количественного анализа воды, применяемые в экологических исследованиях; электрические методы измерения при исследовании процессов озонной технологии. В сравнительном анализе существующих процессов и аппаратов озонной технологии выявлены наиболее важные преимущества озонаторов на коронном разряде: простота конструкции, малые габариты, экологическая безопасность, высокая производительность по выходу озона, малые удельные энергозатраты, отсутствие воздухоподготовки.*

*Ключевые слова: методы очистки, питьевые и сточные воды, озон, озонирование, озонирующий элемент.*

\* Z. A. Baymakhanova, A. B. Tlegenov, A. M. Aituganova, G. R. Balkhodzhaeva, A. Zhanserikkyzy

Kyzylorda University named after Korkyt Ata,

Republic of Kazakhstan, Kyzylorda

Received 11.04.24.

Received in revised form 12.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **OZONE TECHNOLOGY PROCESSES AND DEVICES FOR DRINKING WATER AND WASTEWATER TREATMENT**

*This article presents the theoretical provisions and practical studies of the purification of drinking and wastewater by ozonation, an analysis of the ecological state of contamination of drinking and wastewater in order to assess the harmful effects of toxic components on the ecological situation of the territory of the Kyzylorda region, an ozonizing power cell and resonant current amplification, characterized by the method of purging the discharge zone with atmospheric air without preliminary air treatment, has been developed; development and pilot testing of a high-frequency ozonator in order to obtain high-quality water treatment that meets the requirements of environmental protection measures.*

*The object of the study is the Syrdarya River, which is the main source of meeting the needs of economic sectors and the economic and drinking needs of the population. Research methods include analysis and generalization of literature data and practice on modern methods of purification of drinking and wastewater; patent and information search for purification and disinfection of drinking and wastewater; analytical, graphical methods of qualitative and quantitative analysis of water used in environmental studies; electrical measurement methods in the study of ozone technology processes. In a comparative analysis of existing processes and devices of ozone technology, the most important advantages of corona discharge ozonators are revealed: simplicity of design, small dimensions, environmental safety, high ozone output performance, low specific energy consumption, lack of air treatment.*

*Keywords: cleaning methods, drinking and waste water, ozone, ozonation, ozonizing element.*

МРНТИ 44.31.31

<https://doi.org/10.48081/XONN2800>

**\*М. К. Даутбеков<sup>1</sup>, Л. Г. Журерова<sup>3</sup>, З. А. Самбаева<sup>1,2</sup>,  
Н. М. Магазов<sup>2</sup>**

<sup>1,3</sup>ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

<sup>3,4</sup>Восточно - Казахстанский технический университет имени  
Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,  
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В НАГРУЖЕННОМ СОСТОЯНИИ**

*В работе показаны сравнение поведения покрытия  $Cr_3C_2-NiCr$ , нанесенного методом детонационного напыления (*d-gun*) и ферритно-перлитной стали 12Х1МФ (DIN 14MoV63) в коррозионной, эрозионной и высокотемпературной среде с учетом того, что покрытия были нанесены при различных расходах газов кислорода, пропана и расстояния нанесения. Проведены эксперименты на высокотемпературное окисление и коррозию образцов с однородным и градиентным покрытием  $Cr_3C_2-NiCr$  и стали 12Х1МФ без покрытия. Описана установка для исследования эрозии частицами при повышенной температуре, конструкция которой позволяет проводить испытания в различных условиях, включая различные эрозионные вещества и распределения их по размерам, температурам и углу атаки поверхности. В данной установке температура образца может достигать 900 С, а скорость частиц – 33 м/с. Результаты экспериментального исследования показали, что пористость существенно влияет на устойчивость к коррозии и эрозионному износу. Результаты экспериментов показали что коррозия влияет на характеристики микрорастрескивания и деформационного износа, воздействуя на*

*твёрдость, что приводит к разрыхлению структуры. Качественный анализ совместного действия коррозии и эрозии может служить руководством при проектировании деталей.*

*Ключевые слова: коррозия, поверхности нагрева котла, высокотемпературное окисление, тепловые станции,  $Cr_3C_2$ -NiCr, детонационное напыление, сталь 12X1MФ.*

## **Введение**

Немалую долю в мировой выработке электроэнергии занимают угольные тепловые электростанции. Так как по данным Международного энергетического агентства (IEA) в 2022 году, доля генерации электроэнергии угольными источниками в общемировом производстве составило около 36 %. Это говорит о том, что эффективность тепловых электростанций значительно влияет на производительность большинства отраслей экономики.

Эффективность высокотемпературных электростанций и сильно зависит от коррозии и эрозии твердых частиц, особенно при повышенных температурах. Этот процесс повреждения может снизить КПД турбин на целых 7–10 %, а в случае крупной электростанции вызвать дополнительный выброс 250 000 тонн  $CO_2$  в течение срока службы станции. Причина и тип коррозии и эрозии твердыми частицами различаются в зависимости от отрасли и места на предприятии, например, частицы могут представлять собой летучую золу в котлах, отслоившуюся накипь в паровых турбинах или минеральные вещества при добыче нефти [1; 2].

Коррозия и эрозионный высокотемпературный износ труб теплообменников и других конструкционных деталей угольных котлов стал ключевой проблемой при проектировании и эксплуатации тепловых электростанций и признан одной из основных причин простоев. Также, очень высоки затраты на техническое обслуживание и ремонт изношенных труб. Высокотемпературное окисление, коррозия и эрозия вызванные воздействием летучей золы и частиц несгоревшего углерода, являются основными проблемами, которые необходимо решить в этих оборудованных, особенно в тех местах, где температура поверхности компонентов превышает 600 °С [3]. Типичными отказами котельных труб,



встречающимися на тепловых электростанциях, являются эрозия, коррозия со стороны воды, коррозия со стороны топки, длительный перегрев, кратковременный перегрев, отказы из-за сварки и усталость.

Содержание свободного кислорода в среде топки котлов электростанций достаточно для объяснения комбинированного процесса эрозии-коррозии, которая состоит из окисляющего газа при повышенной температуре и несущего эрозионную летучую золу. Эти эрозионные частицы могут осаждаться или внедряться на исследуемой поверхности в весьма значительных количествах, а на эродирующей поверхности могут развиваться химические реакции эрозионных частиц и оксидных отложений. Так что скорость коррозии и эрозии также зависит от кинетики окисления и реактивности эрозионных частиц.

Эрозионные и комбинированные эрозионно-коррозионные процессы приводят к тяжелым повреждениям деталей оборудования в различных отраслях промышленности. Эти процессы проявляются в широком диапазоне условий эксплуатации, применяемых в промышленных деталях, таких как эксплуатация пароводяных труб [4], эксплуатация деталей используемых в подготовке твердого топлива и в сжигании топлива в топке котла [5], движение пара и ее соударение о лопасти турбин [6]. Знание таких случаев необходимо для выбора подходящих материалов для изготовления и проектирования деталей работающих в нагруженном состоянии. Особенно уязвимыми являются промышленные субъекты использующие твердое топливо, например производство электроэнергии. Общие механизмы коррозии основаны на механических эффектах относительного движения газа или жидкости (второе тело), а также заключенных твердых частиц (третье тело), сопровождающихся окислительными и коррозионными процессами, приводящими к повышенному износу. Таким образом, открытая объемная поверхность подвержена химическим реакциям с взаимодействующими окислителями, содержащимися в стекающей жидкой или газообразной среде [7].

Большая часть оборудования тепловых электростанции Казахстана выработала свой парковый и нормативный ресурс, что обуславливает снижение его надежности, вследствие накопления внутренних и внешних повреждений из за влияния эрозии и коррозии на поверхности нагрева энергетического оборудования, соответственно, вопросы предотвращения

отказов оборудования тепловых электростанции путем повышения надежности уже имеющегося оборудования остается весьма актуальной.

Разработка технологий нанесения защитных покрытий поверхностей нагрева котлов с применением термического напыления, требует тщательной оценки эксплуатационных характеристик котла. Эта оценка должна помочь установить влияние характеристики топки котла на свойства защитного покрытия.

Детонационное напыление покрытий является одним из перспективных методов нанесения широкого спектра материалов и движения с высокими скоростями (более 800 м/с) в процессе детонационного напыления, что приводит к незначительному разложению материала. Таким образом, можно получить плотные покрытия с превосходной адгезионной прочностью, низкой пористостью и остаточными напряжениями сжатия. Однако имеется мало информации о тепловом расширении и рекристаллизации таких высокотемпературных покрытий [8].

В работе [9] сделано заключение о том, что некоторые детали тепловых станций возможно могут быть использованы для последующей эксплуатации, хотя установленный срок службы выработан, при условии назначения надлежащего контроля в процессе эксплуатации.

#### **Материалы и методы**

Данная работа содержит результаты экспериментальных исследований, проведенных с покрытиями из порошка  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ , нанесенными с помощью детонационного комплекса CCDS2000 (НАО «ВКУ им.С.Аманжолова», г.Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан), который обладает системой электромагнитных газовых клапанов [10].

Нижепредставленный рисунок 1 демонстрирует общий вид детонационной пушки и ее основную схему.

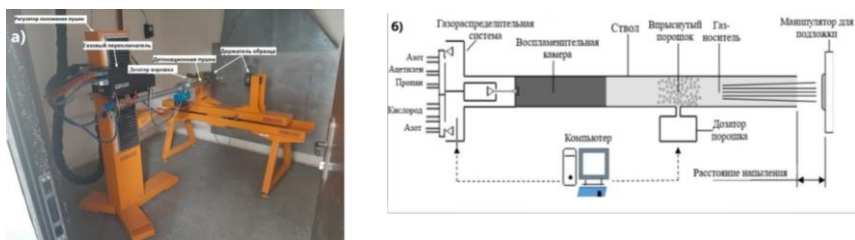


Рисунок 1. – а) Компьютеризированный детонационный комплекс CCDS2000: общий вид (а) и принципиальная схема установки (б)

В результате детонации во взрывчатой смеси образуется детонационная волна, которая затем переходит в ударную волну. Продукты детонации (нагретые до 3500°C) и газа-носителя (нагретый ударной волной до 1000-1500°C) движутся со сверхзвуковой скоростью к выходу из ствола детонационной пушки.

Диаметр прямого ствола используемого детонационного комплекса составляет 20 мм. В качестве газа-носителя использовался азот (N). В качестве напыляемого материала использовали композитный порошок фирмы H.C. Starck: 584.054 Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr (75%/25%) с размером частиц порошка 10-45 мкм [10; 11].

В качестве образца для подложки была выбрана сталь теплоустойчивая 12X1MФ (DIN 14MoV63), используемая для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии в течение длительного времени.

Химический состав стали 12X1MФ (DIN 14MoV63) по стандарту ГОСТ 20072 – 74 (DIN 17175) показаны в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – Химический состав стали 12X1MФ (%)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V	Cu
0.1-0.15	0.17-0.37	0.4-0.7	≤0.3	≤0.025	≤0.03	0.9-1.2	0.25-0.5	0.15-0.3	≤0.2

Для напыления было выбрано соотношение  $C_2H_2/C_3H_8=1,026$ . По мере увеличения объема взрывчатой смеси (от 57 % до 73 % от объема ствола) увеличивается температура, до которой частицы нагреваются во время движения внутри ствола [12]. Режимы, при которых получены покрытия на основе  $Cr_3C_2-NiCr$  показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические параметры получения покрытий  $Cr_3C_2-NiCr$

Образец	Метод нанесения покрытия, (объем заполнения ствола)	Дистанция напыления, mm	Количество выстрелов
№1	73 %	150	30
№2	57-73 %		
№3	без покрытия	нет	нет

Испытание на циклическое высокотемпературное окисление проводилось в муфельной печи SNOL 3/1100 (НАО «ВКУ им.С.Аманжолова», г.Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан) при температуре  $900^{\circ}C$  в течение пятидесяти циклов. Перед исследованием окисления образцы были взвешены с помощью аналитических весов GIBERTINI CRYSTAL 100 CAL CE (НАО «ВКУ им.С.Аманжолова», г.Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан) и фиксировали первоначальный вес образцов. Затем образцы выдерживали в предварительно нагретой муфельной печи до температуры  $900^{\circ}C$  в течение 1 часа с последующим охлаждением при комнатной температуре в течение 20 минут. Исследование окисления проводилось в течение 50 циклов, так как этого периода времени достаточно для достижения устойчивого состояния окисления [13; 14]. Затем после каждого цикла вес измерялся вместе с визуальным осмотром.

Экспериментальные испытания на коррозию проводили в камере нейтрального солевого тумана (Sakarya University, г.Сакарья, Турция) в соответствии с ГОСТ 34388—2018. Поверхности образцов для испытания были расположены вверх и под углом  $25 \pm 5^{\circ}$  к вертикали и расположены так, чтобы не соприкасаться друг с другом и корпусом. Материал, используемый для подвешивания испытуемых образцов, была из

синтетической проволоки. Периодически проводятся коррозионные проверки образцов. Продолжительность испытания – 720 часов.

Нами была разработана установка (Рисунок 2) в соответствии с ASTM G-76 и ASTM G211-14 на базе ТОО «PlasmaScience», г. Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан, позволяющая проводить испытания стали на высокотемпературную эрозию и коррозию.

Установка, по замыслу, позволит испытывать котельные трубы при температуре до 950 °С и скоростях частиц до 25 м/с. При повышенной температуре за эрозией может следовать значение потери толщины, а не потери веса, поскольку окисление усложняет измерения веса. Два материала сталь 12Х1МФ с однородным покрытием и градиентным покрытием Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr тестировали на текущей установке при 650°С со скоростью частиц 10 м/с. Тестирование показало, что сталь с покрытием работает лучше, чем без покрытия, скорость эрозии первого на 20% ниже, чем у последнего.

### **Результаты и их обсуждения**

Испытания на разработанной установке проводились при методике ускоренных испытаний на высокотемпературную газовую коррозию и эрозию. Эти испытания проходили в условиях, схожих с эксплуатационными условиями пароперегревателя угольного котлоагрегата. Исследовательский диапазон температур варьировался от окружающей среды до 650 °С. Для ускорения частиц эрозионного материала также использовался воздух. В качестве эрозионного агента использовался оксид алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

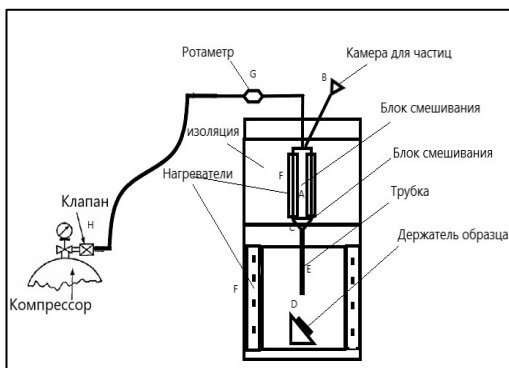
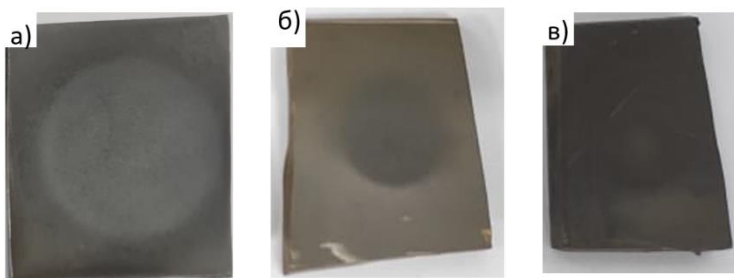


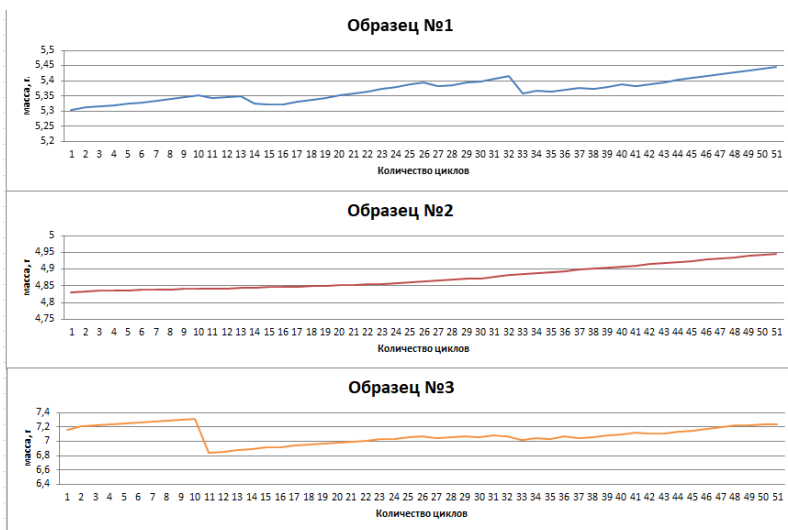
Рисунок 2 – а) Стенд на абразивный износ,  
б) Принципиальная схема стенда

Полученные результаты (см. Рисунок 3) показали, что образец №2 проявил более стабильное увеличение веса. Это, вероятно, связано с тем, что покрытие  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  успешно защищало поверхность образца от воздействия кислорода и агрессивной среды, предотвращая окисление и образование окалины. В отличие от этого, на образцах №1 и №3 наблюдались резкие скачки изменения веса, которые, вероятно, связаны с процессом образования и отслаивания окалины. Кроме того, на Рисунке 3 можно заметить уменьшение площади кратера эрозии, которое составило почти 23% по сравнению с образцом без покрытия.



а) Образец №1; б) Образец №3; в) Образец №2  
Рисунок 3 – Фото результатов испытаний на стенде

Исследована стойкость образцов с градиентным покрытием, с однородным покрытием а также образца без покрытия к высокотемпературному окислению. Эксперименты проводили согласно ГОСТ 6130-71 при температуре 900 °С, количество циклов составило 50. После выдерживания при указанной температуре в течении 1 ч охлаждали в воздухе в течение 20 мин. Эту процедуру можно рассматривать как один цикл высокотемпературного окисления. После каждого цикла измеряли массу каждого образца рисунок 4.



а) Образец №1; б) Образец №2; в) Образец №3

Рисунок 4 – График изменения массы образцов при испытаний к высокотемпературному окислению, количество циклов 50

Как видно на Рисунке 4, на 10 цикле эксперимента у Образца № 3 и на 33 цикле у образца Образца №1 наблюдается резкое изменение массы, что показывает об отслоении образовавшейся окалины, тем временем, у образца с градиентным покрытием рост массы идет стабильными темпами, без отслоения окалины.

На рисунке 5 показаны поверхности образцов после 50 циклов экспериментальных испытаний.

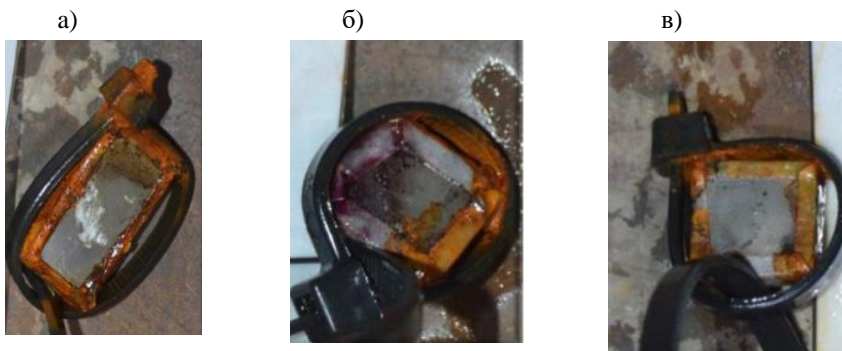


а) Образец №2; б) Образец №1; в) Образец №3

Рисунок 5 – Результаты испытаний к высокотемпературному окислению, количество циклов 50 циклов

По результатам экспериментального исследования на коррозию в Образце №3 были обнаружены уже через 53 часа с начала эксперимента, а в Образце №1 были обнаружены признаки коррозии через 456 часов эксперимента. В образце №2 коррозия не была обнаружена и после 1000 часов эксперимента.

Морфология поверхности трех образцов при длительном воздействии (1000 часов) представлена на рис. 6.



а) Образец №2; б) Образец №1; в) Образец №3

Рисунок 6 – Результаты испытаний на коррозию в солевом тумане

Солевой туман легко проникал через покрытие в границу раздела с увеличением пористости, усиливая гальваническую коррозию и разрушая границу раздела покрытия с подложкой, при этом вероятно, из за разности в объемах заполнения ствола детонационной пушки возникают разные термические напряжения при нанесении покрытия и, как следствие,



покрытия с градиентной структурой имеет разную пористость которая может сдерживать распространение коррозии по порам.

### **Информация о финансировании**

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан № BR21882370 «Разработка и внедрение технологии сверхзвуковой дуговой металлизации для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственных машин».

### **Выводы**

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

Покрытие  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  в целом успешно действует как «хранилище» для образования защитных оксидов и, следовательно, может увеличить срок службы стали.

Оксидная окалина Образцов №1 и №3 показали тенденцию к растрескиванию и отслаиванию при испытании на высокотемпературное окисление. Напротив, Образец №2 показал положительные результаты, так как покрытие оказалось стойким к окислению во время экспериментов;

Эксперимент в солевом тумане показал отсутствие признаков коррозии в Образце №2 при экспонировании в камере солевого тумана в течении 1000 часов, а в Образцах №1 и №3 была обнаружена коррозия уже через 53 и 456 часов соответственно;

В проведенном эксперименте на разработанном стенде можно заметить уменьшение почти на 23 % площади кратера эрозии в Образце №2 по сравнению с образцом №3;

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Fry A. et al.** Metrology to Enable High Temperature Erosion Testing – A New European Initiative [Text] // Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants: Proceedings from the Seventh International Conference. – <https://doi.org/10.31399/asm.cp.am-epri-2013p0400>.

2 **Rapp, R. A.,** Hot corrosion of materials: a fluxing mechanism? [Text] // Corrosion Science, – Volume 44. – Issue 2. – 2002. P. 209–221. – ISSN 0010-938X, [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(01\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(01)00057-9).

3 **Hidalgo, V. Higuera et al.** A comparative study of high-temperature erosion wear of plasma-sprayed NiCrBSiFe and WC–NiCrBSiFe coatings under simulated coal-fired boiler conditions [Text] // Tribology International 34 – (2001). : P. 161–169.

4 **Jonas, O.** (1985). Control erosion/corrosion of steels in wet steam. [Text] // Power. 129(3). P. 102–103.

5 **Wang Y. et al.** Corrosion and erosion–corrosion behaviour of activated combustion high-velocity air fuel sprayed Fe-based amorphous coatings in chloride-containing solutions, [Text] // Corrosion Science, Volume 98, 2015, P. 339–353, ISSN 0010-938X, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.05.044>.

6 **Levy A. V., Jahanmir S.** Corrosion–Erosion Behavior of Materials [Text] // Metallurgical Society of AIME, Pennsylvania. – 1980.

7 **Varga, M., Rojacz, H., Widder, L. et al.** High Temperature Erosion-Corrosion of Wear Protection Materials. [Text] // Bio Tribo Corros 7, 87. 2021.– <https://doi.org/10.1007/s40735-021-00504-9>.

8 **Purushotham, N., Santhy, K., Suresh Babu, P. et al.** In Situ High-Temperature X-ray Diffraction Study on Atmospheric Plasma and Detonation Sprayed Ni-5 wt.%Al Coatings. [Text] // Therm Spray Tech 32, 2091–2103 2023– <https://doi.org/10.1007/s11666-023-01627-w>.

9 **Zrlic, M., Aleksic R.,** The effect of long term exposure to elevated temperature on steam line steel properties [Text] // Thermal Science. – Vol.7 2003. – No. 1. P. 33–46.

10 **Kakimzhanov D, Rakhadilov B, Sulyubayeva L, Dautbekov M.** Influence of Pulse-Plasma Treatment Distance on Structure and Properties of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr-Based Detonation Coatings. [Text] // Coatings – 2023. – 13(11):–1824. <https://doi.org/10.3390/coatings13111824>.

11 **Kakimzhanov, D. N., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Yu., Dautbekov, M.K.,** Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr coatings, [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials 5 (1), <https://doi.org/10.32523/ejpfm.2021050106>.

12 **Bauyrzhan Rakhadilov, Daur Kakimzhanov, Merkhata Dautbekov, Zhuldyz Sagdoldina, Meruyert Adykanova, Riza Abylkalykova,** «Influence of Spraying Parameters on the Structure and Tribological Properties of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-

NiCr Detonation Coatings» [Text] // Advances in Tribology, Vol. 2023, Article ID 6684656, 9 p. 2023. – <https://doi.org/10.1155/2023/6684656>.

13 **Sukhpal Singh Chatha, Hazoor S. Sidhu, Buta S. Sidhu**, High temperature hot corrosion behaviour of NiCr and Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr coatings on T91 boiler steel in an aggressive environment at 750 °C, [Text] // Surface and Coatings Technology, – Volume 206, – Issues 19–20, 2012, P. 3839-3850, – ISSN 0257-8972, – <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.01.060>.

14 **Kumar S. et al.** High temperature oxidation and erosion-corrosion behaviour of wire arc sprayed Ni-Cr coating on boiler steel [Text] // Materials Research Express. – 2020. – Vol. 6. No. 12. P. 125533.

Поступило в редакцию 28.04.24.

Поступило с исправлениями 15.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

\*М. К. Даутбеков<sup>1</sup>, Л. Г. Журерова<sup>3</sup>, З. А. Сатбаева<sup>1,2</sup> Н. М. Магазов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

<sup>2</sup>«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

<sup>3</sup>Д. Серикбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

28.03.24 ж. баспаға түсті.

15.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ЖЫЛУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ҚОЛАЙСЫЗ ОРТАДА ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ ЭКСПЛУАТАЦИЯЛЫҚ ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ**

*Бұл мақалада детонациялық бұрқу (d-gun) және 12Х1МФ (DIN 14MoV63) ферритті-перлит болат жабындардың әртүрлі жағдайларда қолданылуын ескере отырып, оттегінің газ шығыны, пропан және қолдану қашықтығын әр түрлі вариацияда, коррозиялық ортада қолданылатын Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr жабынының әрекетін салыстыру көрсетілген. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr және 12Х1МФ*

болатпен қапталған үлгілердің жоғары температурадағы тотығуы және коррозия төтен беруі бойынша тәжірибелер жүргізілді. Жоғары температурада бөлшектермен эрозияны зерттеуге арналған қондырғы сипатталған, оның конструкциясы әртүрлі жағдайларда, соның ішінде әртүрлі эрозиялық заттарды және олардың көлемі, температурасы және бетінің шабуыл бұрышы бойынша таралуын тексеруге мүмкіндік береді. Бұл қондырғы конструкциясында үлгі температурасы 900 С, ал бөлшектердің жылдамдығы 33 м/с жетуі мүмкін. Нәтижелер кеуектіліктің коррозияға және эрозиялық тозуға төзімділікке айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Кеуектілік өнімділікке әсер етеді, ал коррозия қаттылыққа әсер ету арқылы микрокрекинг және деформациялық тозу сипаттамаларына әсер етеді, нәтижесінде құрылымның қопсытуына әкеледі. Коррозия мен эрозияның біріккен әсерін сапалы талдау тротуардың дизайнын бағыттау алады.

*Кілтті сөздер:* коррозия, қазандықтың қыздыру беттері, жоғары температуралық тотығу, жылу станциялары,  $Cr_3C_2-NiCr$ , детонациялық бүрку, болат 12Х1МФ.

\*M. K. Dautbekov<sup>1</sup>, L. G. Zhurerova<sup>3</sup>, Z. A. Satbaeva<sup>1,2</sup> N. M. Magazov<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Plasmascience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

<sup>2</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

<sup>3</sup>Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk.

Received 28.04.24.

Received in revised form 15.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **INCREASE OF OPERATIONAL PROPERTIES OF POWER EQUIPMENT PARTS WORKING IN LOADED CONDITION**

*The paper shows a comparison of the behavior of  $Cr_3C_2-NiCr$  coating applied by detonation spraying (d-gun) and ferritic-perlitic steel*

*12X1MF (DIN 14MoV63) in a corrosive environment, taking into account that the coatings were applied at different flow rates of oxygen and propane gases and application distance. Experiments on high-temperature oxidation and corrosion of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr coated specimens and 12X1MF steel were carried out. A rig for studying particle erosion at elevated temperature is described, the design of which allows testing under a variety of conditions, including different erosion agents and distributions in terms of size, temperature and surface angle of attack. In this plant design, the specimen temperature can reach 900 C and the particle velocity can reach 33 m/s. The results showed that porosity significantly affects the corrosion and erosion wear resistance. Porosity affects the performance, whereas corrosion affects the micro-cracking and strain wear performance by affecting the hardness, which leads to loosening of the structure. A qualitative analysis of the combined effect of corrosion and erosion can guide pavement design.*

*Keywords: corrosion, boiler heating surfaces, high-temperature oxidation, thermal stations, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr, detonation spraying, steel 12H1MF.*

FTAMP27.41.17

<https://doi.org/10.48081/XPRS8779>

**\*А. З. Даутова<sup>1</sup>, Д. С. Найманова<sup>1</sup>, Н. Н. Дюсенгазина<sup>1</sup>,  
А. Т. Майдисарова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>2</sup>Павлодар химия-механикалық колледжі» МККК,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

\*e-mail: [d-no@inbox.ru](mailto:d-no@inbox.ru)

## **ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕРДІ ШЕШУ ҮШІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ**

Кәсіпорындардың барлық нысандарының қызметін талдауды жетілдіру тенденцияларының бірі – нәтижеге әсер ететін параметрлерді ұлғайту, қабылданған басқару шешімдерін негіздеу, кәсіпорындардың әлеуетін пайдаланудың оңтайлы әдісін таңдау, өндіріс өнімділігін арттыратын кәсіпорындардың әлеуетін анықтау және жұмылдыру арқылы энергетикалық талдаудың тиімділігін арттыруға қызмет ететін математикалық әдістерді қолдану.

Тақырыптың өзектілігі: энергетикалық талдау әлеуетін жетілдіруге ықпал ететін математикалық әдістерді қолдану, бұл басқарушылық шешімдердің тиімділігін арттыруға қызмет ететін энергетика міндеттерінің жаңа тұжырымдарын анықтауға мүмкіндік береді.

Мақаланың мақсаты – энергетика мен математикалық әдістер арасындағы қатынастарды анықтау және талдау, мысалы, ресурстарды пайдалану және қос есептер мәселесінің оңтайлы шешімін табу, сонымен қатар өндіріс процесінің әртүрлі параметрлерін (компоненттерін) ауыстыру кезінде алынған эксперимент нәтижелерін талдау. Транспорттық есептің математикалық аппараты электр энергетикасының есептеріне де қолданылады. Мұнда өнім қуат көздерінен тұтынушыларға электр

*желілері арқылы берілетін электр қуатын білдіреді. Қуат көздері – электр станциялары немесе қосалқы станциялар, тұтынушылар – өнеркәсіптік, қалалық, ауылшаруашылық электр энергиясын тұтынушылар. Қуат көздерінің тораптарын тұтынушылар тораптарымен байланыстыратын электр беру желілерінен тұратын электр желісінің схемасының шығындары оңтайландыруға жатады. Зерттеу нысаны – бұл энергетикалық және математикалық ғылымдар арасында пайда болатын пәнаралық байланыстар. Зерттеу пәні – энергетикалық, өндірістік мамандықтардың студенттерін математикалық даярлау қажеттілігін анықтайтын математикалық шешу әдістері.*

*Зерттеуде отандық ғалымдардың мәліметтері энергетика, математика және педагогика сияқты байланысты білім салаларында қолданылды [1].*

*Кілттік сөздер: энергетикалық-математикалық әдістер, бизнес, өнеркәсіптік информатика, транспорттық есеп, статистикалық әдістер.*

### ***Kipicne***

Мақалада сызықтық бағдарламалау есептерін шешу және талдау үрдісіне негізделген энергетикалық есептерді шешудің математикалық әдістерінің өзара тәуелділігін көрсетуге тырысамыз. Мақалада тірек жоспарларын құрудың үш әдісі қарастырылды (солтүстік-батыс бұрыш әдісі, Фогельдің жуықтауы және минималды баға), сонымен қатар олардың біреуін шешудің мысалы келтірілген. Ұсынылған міндет жағдайында ресурстарды өндірудің және сәйкесінше пайдаланудың үш нұсқасы бар кәсіпорынның өндірістік қызметі берілген. Тапсырманың мақсаты – мата өндірісінің жалпы құнын азайту мақсатында мата өндірісін станоктарға бөлу. Шешілетін тапсырманың бағалылығы энергетикаға тікелей қатысты және осыдан бұл тапсырманың энергетикалық және өндірістік мамандықтарының білім алушыларына қызықты екеніне қорытынды жасаймыз. Қарастырылып отырған тапсырманың тағы бір артықшылығы – бұл үрдісте «өнеркәсіптік информатика» пәнін нақты өмірлік

мысалдармен оқыту білім алушыларды қызықтырады және осы пәннің жоғары маңыздылығын көрсетеді. Оңтайлы шешімдер табу, өтелімділікті есептеу, өндірістің жалпы құны – бұл математикалық әдістерді қолдану кезінде шешілуі едәуір жеңілдетілген есептер класы.

### **Материалдар мен әдістер**

Энергетикалық-математикалық әдістер қазіргі заманғы компьютерлердің мүмкіндіктерімен бірге кейбір жағдайларда қол жетімді шығындармен эргономикалық басқару шешімдерін табуға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта басқару шешімдерін дайындаудың келесі мәселелерін шешудің математикалық әдістері сыналды:

- ресурстар мен қорлар көлеміне және өнім бірлігін өндіруге шектеулер кезінде максималды жалпы пайда алуды қамтамасыз ететін әртүрлі технологияларды пайдалану кезінде бір типті өнім шығаруды ұтымды ету;

- ресурстар шығыстарының берілген мөндері және өнім бірлігіне шаққандағы пайда шамасы кезінде ең көп табыс (пайда) алуды қамтамасыз ететін өнім шығару көлемі есептелген кезде берілген технологиямен өндірістік бағдарламаны оңтайландыру;

- әртүрлі маркалы машиналар тұрағының құрамын неғұрлым ұтымды пайдалану, олардың құны мен өнімділігі белгілі болған кезде, осы машиналарды сатып алуға ең аз шығындармен жоспардың орындалуын қамтамасыз ететін нақты жұмыстарды орындау кезінде;

- жабдықтың құны мен өнімділігі белгілі болған кезде өнімнің өзіндік құнының минимумына жету үшін жабдықтың оңтайлы жүктемесін анықтау;

- өнімді жеткізуші ұйымды оңтайлы орналастыру, бұл ретте тұтынушыларға берілген тұтынумен және орналасуымен тонна-километр тасымалдау саны барынша азайтылады;

- тұтынушыларды жеткізушілерге бекіту, осылайша, тұтынушыларға барлық өнімді жеткізуде жалпы транспорттық шығындарды азайту.

Әртүрлі технологиялық әдістермен бірдей өнімді шығаруды оңтайландыру есебінің мысалдарында қарастырайық.

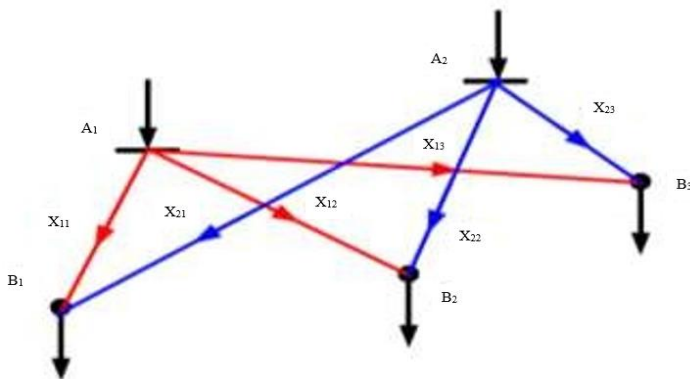


**№ 1 есеп.** Жобаланған электрмен жабдықтау жүйесінде қуат көздері бар екі түйін және тұтынушылардың үш түйіні бар. Көздердің қуаты –  $A_1, A_2$ , ал тұтынушылардың қуаты –  $B_1, B_2$  және  $B_3$ . Түйіндердің өзара орналасуы және электр желісінің құрылысына мүмкін болатын сызықтар 1-суретте көрсетілген. Тұтынушылар мен көздердің түйіндері арасында желілер бойынша қуаттарды беруге арналған үлестік шығындар  $Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}$  ш. б. /м. б. құрайды.

Транспорттық есепті шешу үшін математикалық моделді жасаңыз.

**Шешімі.** Электр желісінің жалпы ақшалай шығындары болып табылатын мақсатты функция өрнекке сәйкес мынадай болады:

$$Z = z_{11} \cdot x_{11} + z_{12} \cdot x_{12} + z_{13} \cdot x_{13} + z_{21} \cdot x_{21} + z_{22} \cdot x_{22} + z_{23} \cdot x_{23} \rightarrow \min$$



Сурет 1 – Қуат көзі мен тұтынушылардың өзара орналасуы

Тапсырманың тепе-теңдігін тексеру шикізат қорларының жиынтық көлемі қажеттіліктердің жиынтық көлеміне тең екенін көрсетеді, яғни жалған бағандарды немесе жолдарды енгізу керек жоқ.

$$\frac{210 + 170 + 65}{445 \text{ тауар бірл.}} = \frac{125 + 90 + 130 + 100}{445 \text{ тауар бірл.}}$$

Төменде 1, 2, 3-ші кестелерде әртүрлі әдістермен есептелген транспорттық есептердің тірек жоспарлары көрсетілген.

Кесте 1 – Солтүстік-батыс бұрыш әдісі арқылы есептелген тірек жоспары бар транспорттық кесте

Жөнелту пункттері, $A_i$	Жөнелту пункттері, $B_i$				Энергия қоры, өнім бірлігі
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	125 5	85 8	1	2	210/85/0
$A_2$	2	5 5	130 4	35 9	170/165/35/0
$A_3$	9	2	3	65 1	65/0
Қажеттілік, өнім бірлігі	125/0	90/5/0	130/0	100/65/0	

Солтүстік-батыс бұрыш әдісімен табылған  $X_{СББ}$  тірек жоспары:

$$X_{СББ} = \begin{pmatrix} 125 & 85 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 130 & 35 \\ 0 & 0 & 0 & 65 \end{pmatrix} [\text{энергия бірл.}]$$

Мақсатты функция (қуатты тасымалдауға арналған жалпы шығындар)

$$L(X_{СББ}) = 125 \cdot 5 + 85 \cdot 8 + 5 \cdot 5 + 130 \cdot 4 + 35 \cdot 9 + 65 \cdot 1 = 2230$$

Кесте 2 – Минималды құн әдісімен есептелген тірек жоспары бар транспорттық кесте

Жөнелту пункттері, $A_i$	Жөнелту пункттері, $B_i$				Энергия қоры, өнім бірлігі
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	5	45 8	130 1	35 2	210/85/45/0
$A_2$	125 2	45 5	4	9	170/45/0

Аз	9	2	3	65 1	65/0
Қажеттілік, өнім бірлігі	125/0	90/45/0	130/0	100/35/0	

Минималды құн әдісімен табылған  $X_{Mқ}$  тірек жоспары:

$$X_{Mқ} = \begin{pmatrix} 0 & 45 & 130 & 35 \\ 125 & 45 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 65 \end{pmatrix} \text{ [энергия бірл.]}$$

Минималды құн әдісімен есептелген мақсатты функцияның мәні:

$$L(X_{Mқ}) = 1100 \text{ [теңге]}$$

Енді Фогельдің жуықтау әдісімен шешілген транспорттық есептің шешімін қарастырайық. Есептің шешімі 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3 – Фогельдің тірек жоспары бар транспорттық кесте

	B1	B2	B3	B4	bi	Жолдың айыппұлдары, di			
A1	5	8	110 1	100 2	210/10/0	1	1	1	7
A2	125 2	25 5	20 4	9	170/45/25/0	2	1	1	1
A3	9	65 2	3	1	65/0	1	1	-	-
ai	125/0	90/25/0	130/20/0	100/0					
Бағанның айыппұлдары di	3	3	2	1					
	-	3	2	1					
	-	3	3	7					
	-	3	3	-					

Фогель әдісімен анықтамалық жоспарды табудың бірінші қадамында транспорттық матрицаның максималды айыппұлдарының мөндерінің тендігі жағдайы туындайды (3-кесте).

$$d_1 \text{ баған} = d_2 \text{ баған} = 3.$$

Бұл бағандардағы ең төменгі тарифтер де сәйкес келеді:

$$c_{21} = c_{32} = 2.$$

Сондықтан  $d_{ij}$  ұяшықтарының (2,1) және (3,2) жиынтық айыппұлдарын салыстыру қажет.

$$d_{21} = d_{2 \text{ жол}} + d_{2 \text{ баған}} = 2 + 3 = 5$$

$$d_{32} = d_{3 \text{ жол}} + d_{2 \text{ баған}} = 1 + 3 = 4$$

Егер  $d_{21} > d_{32}$ , онда бірінші қадамда (2,1) ұяшығын толтырамыз.

Фогель әдісі көмегімен алынған  $X_{\Phi}$  тірек жоспары:

$$X_{\Phi} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 110 & 100 \\ 125 & 25 & 20 & 0 \\ 0 & 65 & 0 & 0 \end{pmatrix}, L(X_{\Phi}) = 895$$

Барлық есептеулерден кейін Фогельді жуықтау арқылы есептелген транспорттық есептің минималды мақсатты функциясы бар екендігі көрінеді.

**№ 2 есеп.** Зауытта матаның төрт түрін шығара алатын тоқыма станоктарының үш түрі жұмыс істейді. Өндіріс үрдісі туралы келесі мәліметтер белгілі:

- матаның әр түрі бойынша станоктардың өнімділігі, м/сағ:

$$(\lambda_{ij}) = \begin{pmatrix} 24 & 30 & 18 & 42 \\ 12 & 15 & 9 & 21 \\ 8 & 10 & 6 & 14 \end{pmatrix}$$

-матаның құны, теңге/м:

$$(c_{ij}) = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \\ 6 & 3 & 5 & 2 \end{pmatrix}$$

- станоктардың жұмыс уақытының жинағы ( $a_i$ ): 90, 220, 180 сағ;

- матаны шығаруға жоспарланған көлем ( $b_j$ ): 1200, 900, 1800, 840 м.

Матаны өндірудің жалпы құнын барынша азайтатындай етіп матаны шығаруды станоктарға тарату қажет.

**Шешімі.**  $x_{ij}$  айнымалысы уақыт болсын,  $i$  станок  $j$ -ші матаны шығарады. Есептің берілген мәліметтерін тарату кестесіне жинаймыз (4-кесте).

Кесте 4 – № 2 есеп бойынша тарату матрицасы

Станоктар	Маталар				аі уақы т жина ғы
	В1	В2	В3	В4	
А1	2( $c_{ij}$ ) ( $r_{ij}$ )24	1 30	3 18	1 42	90
А2	3 12	2 15	4 9	1 21	220
А3	6 8	3 10	5 6	2 14	180
Көлем	1200	900	1800	840	

Матаның барлық түрінің жоспарланған санын шығару құнының мақсатты функцияда мағынасы бар.

$$L(X) = 2 \cdot 24 \cdot x_{11} + 1 \cdot 30 \cdot x_{12} + 3 \cdot 18 \cdot x_{13} + 1 \cdot 42 \cdot x_{14} + 3 \cdot 12 \cdot x_{21} + 2 \cdot 15 \cdot x_{22} + 4 \cdot 9 \cdot x_{23} + 1 \cdot 21 \cdot x_{24} + 6 \cdot 8 \cdot x_{31} + 3 \cdot 10 \cdot x_{32} + 5 \cdot 6 \cdot x_{33} + 2 \cdot 14 \cdot x_{34} =$$

$$8x_{11} + 30x_{12} + 54x_{13} + 42x_{14} + 36x_{21} + 30x_{22} + 36x_{23} + 21x_{24} + 48x_{31} + 30x_{32} + 28x_{33} + 28x_{34}$$

$$4 \rightarrow \min$$

Шектеулерді жазайық:

- уақыттың жинағы бойынша:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 90$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 220$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 180$$

- өнімнің көлемі бойынша:

$$24x_{11} + 12x_{21} + 8x_{31} = 1200$$

$$30x_{12} + 15x_{22} + 10x_{32} = 900$$

$$18x_{13} + 9x_{23} + 6x_{33} = 1800$$

$$42x_{14} + 21x_{24} + 14x_{34} = 840$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (\forall i = \overline{1,3}; j = \overline{1,4})$$

Әрі қарай, біз бастапқы тапсырманы мата тек бір станокты шығарған кезде ұсынамыз – базалық және біз оның сипаттамаларына сәйкес келетін мәселенің барлық параметрлерін ұсынамыз. Базалық негізінде сіз кез келген станокты таңдай аласыз. Біз максималды өнімділігі бар станокты таңдаймыз, яғни А1.  $\alpha_j$  станогының өнімділігін есептейік, базалық станоктың өнімділігіне қарай жүйеленген:

$$\alpha_1 = \frac{24}{24} = \frac{30}{30} = \frac{18}{18} = \frac{42}{42} = 1$$

$$\alpha_2 = \frac{12}{24} = \frac{15}{30} = \frac{9}{18} = \frac{21}{42} = \frac{1}{2}$$

$$\alpha_3 = \frac{8}{24} = \frac{10}{30} = \frac{6}{18} = \frac{14}{42} = \frac{1}{3}$$

Біз базалық станок екінші станоктан екі есе, ал үшіншіден үш есе жылдам жұмыс істейтінін аламыз.

Станоктардың уақыт қорларын анықтау есептеулерін жазайық:

$$a_1 = 90 \cdot 1 = 90$$

$$a_2 = 220 \cdot \frac{1}{2} = 110$$

$$a_3 = 180 \cdot \frac{1}{3} = 60$$

Осы мәліметтерден біз екінші станоктың уақыт қорында орындайтын жұмыс көлемі 220 сағат базалық станок 110 сағат ішінде орындай алатынын түсінеміз. Сол сияқты, үшінші станок 180 сағатта орындайтын жұмыс көлемі базалық 60 сағатта орындайды.

Әрі қарай біз жоспарлы тапсырманың есептік деректерін жазамыз:

$$b_1 = \frac{1200}{24} = 50$$

$$b_2 = \frac{900}{30} = 30$$

$$b_3 = \frac{1800}{18} = 100$$

$$b_4 = \frac{840}{42} = 20$$

Яғни, матаның бірінші түрін шығару жоспарын базалық станок 50 сағатта, екінші түрі 30 сағатта орындайды.

Әрі қарай біз шығындарды қайта есептеуді жазамыз:

$$c_{13} = 3 \cdot 18 = 54 \text{ [теңге/сағ]};$$

$$c_{21} = 3 \cdot 24 = 72 \text{ [теңге/сағ]};$$

$$c_{34} = 2 \cdot 42 = 84 \text{ [теңге/сағ]}.$$

Алынған транспорттық есепте тепе-теңдік шарты орындалмайды, өйткені станоктардың жалпы уақыт қоры барлық маталарды шығару жоспарын орындау үшін қажет болғаннан көп (260 сағат > 200 сағат). Сондықтан  $V_{\Phi}$  жалған бағанды енгіземіз, әрі барлық қайта есептелген есептер шешімінің параметрлерін транспорттық матрицаға жазамыз (5-кесте).

Жеңілдетуге арналған жалған тарифтер нөлге тең.

Кесте 5 – № 2 есептің транспорттық матрицасы

Станоктар	Маталар					a' уақыт жинағы
	B1	B2	B3	B4	BФ	
A1	48	30	54	42	0	90
A2	72	60	72	42	0	110
A3	144	90	90	84	0	60
b'j өнімнің көлемі	50	30	100	20	60	

Жеңілдету үшін оңтайлы шешімнің орнына солтүстік-батыс бұрыш әдісімен табылған  $X'_{СББ}$  анықтамалық жоспарын қарастырамыз.

$$X'_{СББ} = \begin{pmatrix} 50 & 30 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 90 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 60^{\Phi} \end{pmatrix}$$

$X'_{СББ}$  транспорттық есептің тірек жоспарын есептің шешімі  $X_{СББ}$  тірек жоспарына түрлендіреміз.

$$X_{СББ} = \begin{pmatrix} 50 & 30 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 180 & 40 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 180^{\Phi} \end{pmatrix}$$

Осылайша, бірінші станок 50 сағ бірінші типтегі матаны, 30 сағ екінші типтегі матаны және 10 сағ үшінші типтегі матаны шығаруы керек. Екінші станок 180 сағ үшінші типтегі матаны 40 сағ – төртінші типтегі матаны шығаруы керек.

Ал, үшінші станок матаны мүлдем босатпай бос қалады, өйткені шешім бойынша оның жүктемелері жалған бағанда болады ( $x_{35}=180^{\Phi}$ ).



Енді станоктар әр түрдің канша метр матасын шығаруы керек екенін анықтайық.

$$X_{СББ}^K = \begin{pmatrix} 1200 & 900 & 180 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1620 & 840 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix}$$

Енді біз өндірістің жалпы құнын табамыз, ол үшін  $X_{СББ}^K$  матрицасының элементтерінің есептелген мәндерін қолданамыз.

$$L(X) = 2 \cdot 1200 + 1 \cdot 900 + 3 \cdot 180 + 4 \cdot 1620 + 1 \cdot 840 = 16020$$

### **Нәтижелер және оларды талқылау**

Әр түрлі мамандықтағы студенттерді даярлаудағы айырмашылықты ескере отырып, білім алушыларға алынған ақпаратты талдау, мәселелерде бастысын бөліп көрсету, логикалық пайымдау, статистикалық материалды жалпылау, жағдайға сай түсіндіру қабілеттерін үйрету қажет [2, 3]. Энергетикалық есепті шешу мысалында электр энергетикасымен байланысты сала қызметкерлері үшін жоғары математиканы білудің маңыздылығы мен қажеттілігін көрсетуге болады.

Транспорттық есептің математикалық аппараты электр энергетиканың мәселелеріне де қолданылады. Мұнда өнім қуат көздерінен тұтынушыларға электр желілері арқылы берілетін электр қуатын білдіреді. Қуат көздері – электр станциялары немесе қосалқы станциялар, тұтынушылар – өнеркәсіптік, қалалық, ауылшаруашылық электр энергиясын тұтынушылар [4, 5, 6]. Қуат көздерінің тораптарын тұтынушылар тораптарымен байланыстыратын электр беру желілерінен тұратын электр желісінің схемасына шығындар оңтайландыруға жатады.

### **Қорытынды**

Осылайша, зерттеу көрсеткендей, дайындықтың энергетикалық және өнеркәсіптік бағыттарының студенттері математикалық аппаратты жетік меңгеріп қана қоймай, алынған деректерді талдау мен түсіндіруді, өндіріс үрдісінің әртүрлі параметрлері мен компоненттерін өзгерту арқылы оңтайлы шешімдерді таба білуі

керек. Сондықтан менеджмент және энергетика салаларында білім қажет, өйткені математиктер көбінесе оңтайландыру критерийлерін, басқару айнымалыларына шектеулерді және басқа да бірқатар арнайы мәселелерді елестете алмайды [7, 8].

Энергетиканың есептерін талдау мысалында мынадай қорытынды жасаймыз: мұның бәрі студенттердің тікелей қызығушылығын тудырып, әрі мамандыққа қатысы жоқ материалды қамтитын оқулықтардағы дерексіз есептермен салыстырғанда студенттердің назарын аударады [9, 10].

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Берндт Э.** Практика эконометрики: классика и современность. – М. : Юнити-Дана, 2005. – 848 с.

2 **Власова, Т. А.** Модель педагогической поддержки развития у студентов способности к личностно-профессиональной самоактуализации: из опыта работы / Т. А. Власова, Н. М. Королева, И. В. Костерина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Лингвистика и педагогика. – 2018. – Т. 8. – № 1 (26). – С. 147–155.

3 **Бредихина, О. А.** Профессионально-ориентированное обучение линейной алгебре с элементами аналитической геометрии студентов таможенного дела / О. А. Бредихина, С. В. Шестакина, Ар. А. Головин // Современные наукоёмкие технологии. – 2018. – № 1. – С. 66–70.

4 **Шукаев Д. Н.** Компьютерное моделирование. – Алматы : КазНТУ, 2004. – 148 с.

5 **Шукаев Д. Н., Ким Е. Р., Шукаев А. Д.** Разработка экспертной системы для решения оптимизационных задач // Вестник КазНТУ, 2003. № 3–4. – С. 224–230.

6 **Шукаев Д. Н., Тажибаева А. К.** Имитационная модель анализа на чувствительность параметров задачи распределения ресурсов // Математическое моделирование и управление в сложных системах / Сборник научных трудов. – М. : 1999. – С. 66–70.

7 **Шукаев Д. Н.** Прикладные методы оптимизации: учебник. – М. : Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 212 с.

8 **Тулембаева А. Н.** Логистика : Учебное пособие. – Алматы : ИздатМаркет, 2004. – С. 312.

9 **Алексеев Т. Н., Смагулова К. С.** Логистика : Учебное пособие. Караганда : Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, 2000. – С.187.

10 **Кадыров А. С., Бестембек Е. С., Сұңғатоллақызы А., Тұрмаханбет Ф., Кокенова А. Т.** Решение транспортной задачи на примере строительства протяженных объектов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6–2. – С. 224–227.

#### REFERENCES

1 **Berndt E.** Praktika ekonometriki: klassika i sovremennost [ The Practice of Econometrics: Classics and Modernity]. – М. : Yuniti-Dana, 2005. – 848 p.

2 **Vlasova, T. A.** Model pedagogicheskoy podderzhki razvitiya u studentov sposobnosti k lichnostno-professional'noj samoaktualizacii: iz opyta raboty [Model of pedagogical support for the development of students ability to personal and professional self-actualization: from work experience]/ T. A. Vlasova, N. M. Koroleva, I. V. Kosterina // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Lingvistika i pedagogika. – 2018. – Т. 8. – № 1 (26). – P. 147–155.

3 **Bredixina, O. A.** Professional'no-orientirovannoe obuchenie linejnoj algebre s elementami analiticheskoy geometrii studentov tamozhennogo dela [Professionally oriented training in linear algebra with elements of analytical geometry for customs students] / O. A. Bredixina, S. V. Shestavina, Ar. A. Golovin // Sovremenny'e naukoymkie tehnologii. – 2018. – № 1. – P. 66–70.

4 **Shukaev D. N.** Kompyuternoe modelirovanie [Computer simulation]. – Almaty : KazNTU, 2004. – 148 p.

5 **Shukaev D. N., Kim E. R., Shukaev A. D.** Razrabotka ekspertnoj sistemy dlya resheniya optimizacionnyx zadach [Development of an

expert system for solving optimization problems] // Vestnik KazNTU, 2003. № 3–4. – P. 224–230.

6 **Shukaev D. N., Tazhibaeva A. K.** Imitacionnaya model analiza na chuvstvitelnost parametrov zadachi raspredeleniya resursov [Simulation model of analysis on the sensitivity of the parameters of the resource allocation task] // Matematicheskoe modelirovanie i upravlenie v slozhnykh sistemax / Sbornik nauchny`x trudov. – M. : 1999. – P. 66–70.

7 **Shukaev D. N.** Prikladnye metody optimizacii: uchebnyk [Applied optimization methods: textbook]. – M. : Izdatel`skij dom Akademii Estestvoznaniya, 2017. – 212 s.

8 **Tulembaeva A. N.** Logistika : Uchebnoe posobie [Logistics : Training Manual]. – Almaty : IzdatMarket, 2004. – P. 312.

9 **Alekseenko T. N., Smagulova K. S.** Logistika : Uchebnoe posobie [Logistics : Training Manual]. – Karaganda : Karagandinskij ekonomicheskij universitet Kazpotrebsoyuza, 2000. – P.187.

10 **Kadyrov A. S., Bestembek E. S., Sungatollakzy A., Turmaxanbet F., Kokenova A. T.** Reshenie transportnoj zadachi na primere stroitelstva protyazhennykh obektov [The solution of the transport problem on the example of the construction of extended facilities ] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyx i fundamentalnyx issledovanij. – 2015. – № 6–2. – P. 224–227.

20.02.24 ж. баспаға түсті.

19.03.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\* *A. З. Даутова<sup>1</sup>, Д. С. Найманова<sup>1</sup>, Н. Н. Дюсенгазина<sup>1</sup>,  
А. Т. Майдисарова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>2</sup>Павлодарский химико-механический колледж,

Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 20.02.24.

Поступило с исправлениями 19.03.24.

Принято в печать 02.06.24.

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

*Одной из тенденций усовершенствования анализа деятельности всех форм предприятий – это применение математических методов, использование которых служит повышению результативности энергетического анализа за счет увеличения параметров, влияющих на результат, обоснования принимаемых управленческих решений, выбора оптимального метода использования потенциала предприятий, определение и мобилизации потенциала предприятий, повышающих продуктивность производства.*

*Актуальность темы: использование математических методов, способствующих усовершенствованию потенциала энергетического анализа, позволяющее определить новые постановки задач энергетики, служащие повышению эффективности устанавливаемых управленческих решений.*

*Целью статьи является определение и анализ взаимосвязей между энергетическими и математическими методами на примере поиска оптимального решения задачи об использовании ресурсов и двойственной задачи, а также анализа результатов эксперимента, полученных при замене различных параметров (компонентов) процесса производства. Математический аппарат транспортной задачи применим и к задачам электроэнергетики. Здесь под продуктом подразумевается электрическая мощность, передаваемая от источников питания к потребителям по линиям электропередачи. Источниками питания являются электрические станции или подстанции, потребителями – промышленные, городские, сельскохозяйственные потребители электроэнергии. Оптимизации подлежат затраты на схему электрической сети, состоящей из линий электропередачи, связывающих узлы источников питания с узлами потребителей. Объект исследования – это межпредметные связи, возникающие между энергетической и математической науками. Предметом исследования – математические методы решения, определяющих необходимость*

*математической подготовки студентов энергетических, промышленных специальностей.*

*В основе исследования использовали данные отечественных учёных в смежных областях знаний, таких как энергетика, математика и педагогика [1].*

*Ключевые слова: энергетико-математические методы, бизнес, промышленная информатика, транспортная задача, статистические методы.*

A. Z. Dautova<sup>1</sup>, D. S. Naimanova<sup>2</sup>, N. N. Dyussengazina<sup>3</sup>, A. T. Maidisarova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2</sup>«Pavlodar Chemical and Mechanical College»,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 20.02.24.

Received in revised form 19.03.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS FOR SOLVING ENERGY PROBLEMS**

*One of the trends in improving the analysis of the activities of all forms of enterprises is the use of mathematical methods, the use of which serves to increase the effectiveness of energy analysis by increasing the parameters that affect the result, substantiating management decisions, choosing the optimal method of using the potential of enterprises, identifying and mobilizing the potential of enterprises that increase production productivity.*

*The relevance of the topic: the use of mathematical methods that contribute to improving the potential of energy analysis, which allows us to identify new formulations of energy problems that serve to increase the effectiveness of established management decisions.*

*The purpose of the article is to identify and analyze the relationships between energy and mathematical methods by the example of finding the optimal solution to the problem of using resources and a dual problem,*

*as well as analyzing the experimental results obtained by replacing various parameters (components) of the production process. The mathematical apparatus of the transport problem is also applicable to the problems of the electric power industry. Here, the product refers to the electrical power transmitted from power sources to consumers via power transmission lines. Power sources are electric power stations or substations, consumers are industrial, urban, and agricultural consumers of electricity. Optimization is subject to the costs of an electrical network circuit consisting of power transmission lines connecting power supply nodes with consumer nodes. The object of research is the interdisciplinary connections that arise between the energy and mathematical sciences. The subject of the research is mathematical methods of solving problems that determine the need for mathematical training of students of energy and industrial specialties.*

*The research was based on data from Russian scientists in related fields of knowledge, such as energy, mathematics and pedagogy [1].*

*Keywords: energy and mathematical methods, business, industrial informatics, transport problem, statistical methods.*

МРНТИ 44.01.94

<https://doi.org/10.48081/BMOM3785>

**\*U. Zhalmagambetova<sup>1</sup>, I. Radelyuk<sup>1</sup>, M. Krykbayeva<sup>1</sup>,  
S. Biloshchytska<sup>2</sup>, L. Kirichenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>2</sup>Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana

\*e-mail: ultuara@mail.ru

## **DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC MONITORING SYSTEM BASED ON THE OPEN ARCHITECTURE CONCEPT**

*Kazakhstan has adopted a carbon neutrality strategy until 2060. In accordance with this strategy, it is necessary to introduce various tools to maintain the environmental safety of the environment. The use of IoT, in combination with the characteristics and requirements of Kazakhstan's environmental legislation, makes it possible to develop a modern environmental monitoring system.*

*The article proposes a solution for developing an example of an automated system for continuous collection of data on the concentration of pollutants in the atmosphere based on an open architecture. The Arduino-based device acts as a microcontroller. It should be noted that the transmission of measured values is carried out via an open wireless communication protocol. The architecture of the system, which was used to build a prototype based on sensors and an Arduino microcontroller, and a wireless data transmission module are presented. The selection of elementary components may change depending on the requirements of the system, the introduction of new units is limited by the number of ports. The openness of solutions allows you to change the configuration depending on the conditions. The advantages of the solutions are openness, low cost, versatility and mobility. However, there is no comparison of the working processes of the proposed solution with traditional ones.*



*Key words: environmental monitoring, greenhouse gases emissions, environmental pollution, Industry 4.0, IoT, microcontroller, automated monitoring system.*

### **Introduction**

*Smart devices are widely used as science advances and technology becomes popular. It has become clear that manual environmental monitoring from a modern point of view has many disadvantages, including low efficiency [1]. This method does not reveal the full scientific and resource potential. In 2018, extensive changes were launched to improve the environmental situation and develop environmental monitoring systems with full access to the data obtained. The project of intelligent systems with the introduction of the Internet of things allows us to solve environmental problems. In addition, the integration of different platforms of multi-parameter environmental monitoring systems can reveal atmospheric environmental monitoring data with high temporal density and a wide range of space, providing a scientific basis for environmental management decisions [2].*

*The main part of the system is the transmission and display of collected data over a distance. This system leverages technologies to the embedded system system monitoring platform and implements node data visualization through an internal web server. Considering limited resources, real-time operation and data security of the internal system, the implementation of the protocol stack and web server in the internal system becomes the key technology of the system.*

### **Materials and methods**

*The purpose of this work is to prepare an air quality monitoring system with wireless data transmission. The main requirements for the device are compactness, implementation of full-program mode, mobility, transmission of collected data using wireless technologies, measurement of all necessary quantities, and the presence of a battery.*

*The developed monitoring system is designed to control the level of atmospheric air pollution, both in the residential area and at a distance, In accordance with the requirements for the device being developed, it is necessary to design a monitoring system that will meet modern requirements.*

*We used an open source Arduino Uno microcontroller based on the Microchip ATmega 328 P microcontroller to design the system. Such a platform is very simple and convenient, as it has 14 inputs/outputs through which all the necessary sensors are connected [3,4].*

*The DHT11 temperature and humidity sensor is used in the system. It is also a budget option consisting of a thermistor and a capacitive sensor. The device allows measurements from zero to one hundred percent humidity, both at negative and positive temperatures [5]. It is very convenient to use a thermoresistive sensor to measure humidity. The main advantage is that there is a digital output, without the need for analog conversion. The measurement data is updated every 2 seconds.*

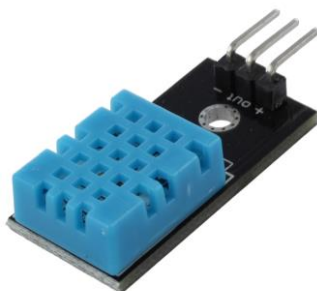


Figure 1 – Sensor DHT11 [3]

According to this scheme, the DHT11 sensor is connected directly to the Arduino UNO microcontroller via an input/output connector and a 5K resistor.

To control the concentration of ultrafine particles, the Nova SDS011 device is used, a laser sensor that detects the number of suspended dust particles, it reads the concentration value every time ultrafine particles pass through the sensor's impact zone [5].



Figure 2 – Nova SDS011 sensor [3]

In general, the sensor can be connected in various ways. both to the personal computer itself and via Arduino UNO, NodeMCU, and has good technical characteristics.

The MQ-135 gas sensor is designed to determine the concentration of harmful and dangerous gases in the air. Measurement range: ammonia – 10 – 300 ppm, gasoline – 10 – 1000 ppm, alcohol – 10 – 300 ppm.



Figure 3 – MQ-135 sensor [3]

The principle of operation of the sensor is based on the change in the resistance of a thin-film layer of tin dioxide in contact with the gas to be detected. The resistance value of MQ-135 is the difference for different types and gases of different concentrations. These components are required to adjust the accuracy. XBee RF modules communicate with the host device via an asynchronous logical layer serial port. Through its serial port, the module can communicate with any UART node that is

compatible with logic and voltage; or via a level switch to any serial device via an RS 232 or USB interface card.



Figure 4 – Xbee module [3]

All the described sensors are connected to the Arduino UNO platform to transfer data to a personal computer and further processing provided by the Arduino and PLX-DAQ applications.

For example, to measure the concentration of carbon dioxide, a linear dependence of the ratio of the resistance of the sensory organ to the initial value on the number of ppm is used:

$$I_1 = kx + b, \quad (1)$$

where  $k$  is the conversion factor and  $b$  is the offset.

In turn, these values can be determined experimentally. In this case,  $b$  takes the value 2.6 and  $k$  takes the value -0.016.

Thus, formula (1) takes the form:

$$I_2 = 2.6 - 0.016x. \quad (2)$$

Temperature and humidity are measured by the DHT11 digital sensor, and the information is therefore transmitted via the address bus.

The measuring principle is based on a divider circuit with a high resistance (figure 5)

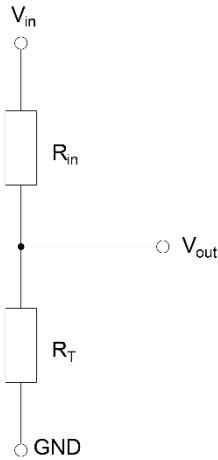


Figure 5 – Temperature Measurement Diagram

Thus, the measurement process can be described by the following system:

$$\begin{cases} V_{in} = I(R_{in} + R_T) \\ V_{out} = I \cdot R_T \end{cases}, \quad (3)$$

where  $V_{in}$  is the input voltage;  $I$  – current;  $R_T$  – thermistor resistance;  $R_{in}$  - balancing.

By transforming system (3) and substituting the values, the following dependency can be obtained:

$$\left\{ \begin{array}{l} I = \frac{V_{in}}{(R_{in} + R_T)} \\ V_{out} = \frac{V_{in} \cdot R_T}{(R_{in} + R_T)} = 5 + 0,001 \cdot R(T) \end{array} \right. , \quad (4)$$

where  $R(T)$  is the dependence of resistance on temperature

At the same time, the process of determining the concentration of solid particles is carried out according to a linear law by the optical method.

### Results and discussion

According to the study, it can be concluded that the development of the device using an open architecture is a possible implementation option. Moreover, the cost of this device is much less than that of traditional automatic monitoring systems. In turn, the process of determining the concentration of particulate matter PM2.5, PM10, carbon dioxide emissions, CO2, humidity, temperature is based on the measurement of electrical signals. The simplicity of the device allows it to be reconstructed in accessible conditions using open sources. This, in turn, gives versatility to the device.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Time	Hum(%)	Temp(C^0)	PM2.5	PM10	CO2	Num Rows			
2	15:44:12	33,00	17,00	0,002	0,023	83,66	1			
3	15:44:13	32,00	17,00	0,002	0,025	83,36	2			
4	15:44:14	32,00	17,00	0,001	0,025	83,36	3			
5	15:44:15	33,00	17,00	0,002	0,024	83,36	4			
6	15:44:16	34,00	18,00	0,002	0,024	83,36	5			
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										

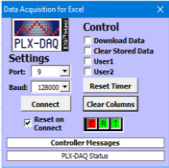


Figure 6 – Sensor data acquisition [1]

Dependencies specified in the form of formulas (2) and (4) allow you to implement this system on any of the possible platforms. At the same time, it is possible to reproduce the results on the city's electronic

billboards. The sensors used are connected to the Arduino board in parallel, the board itself is connected to a PC via a USB connector. An illustrative diagram is shown in Figure 7.

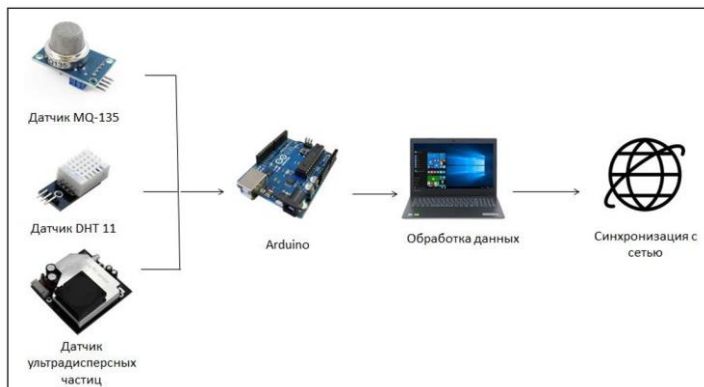


Figure 7 – AMS architecture [1]

An integral part of this trajectory has been the recognition that the cost-effectiveness of monitoring can be optimized by combining data collection for different purposes. As such, the device was conceived as an all-in-one tool capable of bringing together disparate data streams for regulatory compliance and broader statistical analysis. This duality of functionality not only boded well for regulatory compliance, but also served as a catalyst for informed decision-making, offering predictive information about future environmental parameters.

**Acknowledgements.** This work was supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the project BR21882258 «Development of Intelligent Information and Communication Systems Complex for Environmental Emission Monitoring to Make Decisions on Carbon Neutrality»

### Conclusions

A central element of the device concept was a detailed understanding of the contextual subtleties that shape environmental research. From air and water quality assessments to soil composition analysis and

biodiversity inventory, the device was designed to implement a multifaceted approach to environmental monitoring.

The architectural design of the device has been carefully calibrated with state-of-the-art sensors and data acquisition mechanisms to ensure comprehensive collection of environmental parameters. This holistic approach has not only contributed to strict regulatory compliance, but has also generated a rich data warehouse that facilitates predictive modeling and trend analysis.

According to the study, the following advantages of this system can be noted. First of all, the openness of the solution, which allows you to improve the device in the public domain and implement it in any conditions.

Secondly, the cost of the solution is many times less than that of most similar traditional ones. The development of this direction will make it possible to create sufficiently accurate devices while maintaining openness.

Thirdly, the versatility of the device allows you to use any device for measuring and transmitting data. Fourthly, the construction of a mobile monitoring system allows you to ensure compactness.

However, the study did not compare the results with approved benchmarks and traditional devices. No dependencies of interference on the system operation have been revealed. Thus, these issues will be considered in further research.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Zhong, J. Y. Zheng, G. Q. Lei, J. Che Chen, WW** Analysis of the current state and trends of air quality monitoring networks. // *Monit. China*. 2007. – Vyp. 02, P.113–118.

2 **Cardelino, K. A., Chameides, V. L.** *Primenenie dannyh so stancij monitoringa fotohimicheskoy ocenki k modeli, osnovannoj na nablyudenyah* [Application of data from photochemical assessment monitoring stations to an observation-based model] // *Atmos. Environment*. – 2000. Vyp.34. – P. 2325.



3 **Baskakov, S. S.** Distributed Monitoring Systems Based on Wireless Sensor Networks. «Hardware and Software of Control, Control and Measurement Systems». М. 2012.

4 Officialnyj sajt RGP «Kazgidromet» [Official website of RSE «Kazhydromet»] [Electronic resource]. – <https://www.kazhydromet.kz>

5 **Informatsionnaya billyuten** o sostoyaniye okruzeniya sredy po Pavlodar oblasti [Information bill on the state of the environment in the Pavlodar region]. [Electronic resource]. – <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology>

6 ESP8266 Module WIFI for Arduino [Online]. Available at: <http://www.ebay.com/item/ESP8266-Receive-AP-STA-Hot-Wireless-Send-Transceiver-Module-WIFI-For-Arduino>.

7 Arduino IDE ESP8266: [Electronic resource]. – <https://esp8266.ru/arduino-ide-esp8266/#func>

8 **Ryabovaya, V. O., Doronina, Yu. V.** Povysheniye effektivnosti sistem ekologicheskogo monitoringa [Improving the effectiveness of environmental monitoring systems]. 2012. Vyp. 4. №6 (58). P. 41\и201244.

9 **Imboden, D., Pfenninger, S.** Introduction to System Analysis: Mathematical Modeling of Natural Systems. 2013. Т.8. P. 235\и2012252.

10 **Comella-Dorda, S., Wallnau, K.** Sicord, R.K., Robert J. Review of Approaches to Modernizing Obsolete Systems // Carnegie Mellon University. Technical note CMU/SEI-2000-TN-003. 2000. [Electronic resource]. – <http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/00.report/00tn003.html>

## REFERENCES

1 **Zhong, J. Y., Zheng, G. Q., Lei, J. Che Chen, WW** Analysis of the current state and trends of air quality monitoring networks. // Monit. China. – 2007. – Vyp. 02. P.113-118.

2 **Карделино, К. А., Чамейдес, В. Л.** Применение данных со станций мониторинга фотохимической оценки к модели, основанной на наблюдениях // Атмос. Окружающая среда. 2000. Вып.34. – С. 2325.

3 **Baskakov, S. S.** Distributed Monitoring Systems Based on Wireless Sensor Networks. «Hardware and Software of Control, Control and Measurement Systems». 2012. М;

4 **Официальный сайт РГП «Казгидромет».** [Электронный ресурс]. – <https://www.kazhydromet.kz>

5 Информационная биллютень о состоянии окружающей среды по Павлодарской области [Электронный ресурс]. – <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/>

6 **ESP8266 Module** WIFI for Arduino [Online]. Available at: <http://www.ebay.com/itm/ESP8266-Receive-AP-STA-Hot-Wireless-Send-Transceiver-Module-WIFI-For-Arduino>.

7 **Arduino IDE** ESP8266 : [Электронный ресурс]. – <https://esp8266.ru/arduino-ide-esp8266/#func>.

8 **Рябовая, В. О., Доронина, Ю. В.** Повышение эффективности систем экологического мониторинга // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Вып. 4. – №6 (58). – С. 41–44.

9 **Imboden, D., Pfenninger, S.** Introduction to Systems Analysis: Mathematically Modeling Natural Systems // Berlin, New York, Springer. 2013. Vol.8. P. 235–252.

10 **Comella-Dorda, S., Wallnau, K., Seacord R.C., Robert J.** A Survey of Legacy System Modernization Approaches // Carnegie Mellon University. Tech. Note CMU/SEI-2000-TN-003. 2000. [Электронный ресурс]. – <http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/00.reports/00tm003.html>.

Received 01.05.24.

Received in revised form 25.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

\*У. Жалмагамбетова<sup>1</sup>, И. Раделюк<sup>1</sup>, М. С. Крыкбаева<sup>1</sup>, С. Белошицкая<sup>2</sup>,  
Л. Кириченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>2</sup>Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

Поступило в редакцию 01.05.24.

Поступило с исправлениями 25.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

*Казахстан принял стратегию углеродной нейтральности до 2060 года. В соответствии данной стратегией необходимо внедрять различные инструменты для поддержания экологической безопасности окружающей среды. Использование IoT, в сочетании с характеристиками и требованиями казахстанского экологического законодательства позволяет разработать современную систему экологического мониторинга. В статье предложено решение по разработке прототипа автоматизированной системы мониторинга для непрерывного сбора данных о концентрации загрязнителей воздуха на основе открытой архитектуры. В качестве микроконтроллера рассмотрено устройство на базе Arduino. Система позволяет измерять в режиме реального времени такие показатели качества воздуха как температура, влажность, концентрация углекислого газа, концентрация твердых частиц PM-2,5, PM-10. Стоит отметить, что передача измеренных значений осуществляется по открытому протоколу беспроводной связи. Представлена архитектура системы, по которой был построен прототип на базе датчиков и микроконтроллера Arduino, и модуль беспроводной передачи данных XR. Выбор элементарных компонентов может изменяться в зависимости от требований к системе, ввод новых блоков ограничен количеством портов. Открытость решений позволяем менять конфигурацию в зависимости от условий.*

*Достоинствами решений является открытость, низкая стоимость, универсальность и мобильность. Однако отсутствует сравнение процессов работы предложенного решения с традиционными.*

*Keywords: environmental monitoring, greenhouse gases emissions, environmental pollution, Industry 4.0, IoT, микроконтроллер, автоматизированная система мониторинга.*

\* У. Жалмагамбетова<sup>1</sup>, И. Раделюк<sup>1</sup>, М. С. Крыкбаева<sup>1</sup>, С. Белошицкая<sup>2</sup>, Л. Кириченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>2</sup>Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

01.05.24 ж. баспаға түсті.

25.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **АШЫҚ АРХИТЕКТУРА ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ НЕГІЗІНДЕ АВТОМАТТЫ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ**

*Қазақстан 2060 жылға дейін көміртекті бейтараптық стратегиясын қабылдады. Осы стратегияға сәйкес қоршаған ортаның экологиялық қауіпсіздігін сақтаудың түрлі құралдарын енгізу қажет. IoT-ты қолдану Қазақстан Республикасының экологиялық заңнамасының сипаттамаларымен және талаптарымен үйлесімде қазіргі заманғы экологиялық мониторинг жүйесін дамытуға мүмкіндік береді. Мақалада үздіксіз мониторингтің автоматтандырылған жүйесінің тәжірибелік-тәжірибелік жүйесін әзірлеу шешімі ұсынылады. Ашық архитектура негізінде атмосфералық ауаны ластайтын заттардың шоғырлануы туралы деректерді жинау. Ардуино негізіндегі құрылғы микроконтроллер ретінде қарастырылады. Жүйе ауа сапасының температура сияқты көрсеткіштерін нақты уақыт режимінде өлшеуге мүмкіндік береді. Блғалдылық, көмірқышқыл газының концентрациясы, қатты заттардың*

концентрациясы РМ-2.5, РМ-10. Өлинетін шамаларды беру сымсыз байланыстың ашық хаттамасы арқылы жүзеге асырылатынын атап өткен жөн. Датчиктер мен Ардуино микробөлішегінің негізінде прототип құру үшін қолданылған жүйе архитектурасы және деректерді сымсыз беру модулі ұсынылған.ХР. Қарапайым компоненттерді іріктеу жүйенің талаптарына байланысты өзгеруі мүмкін, жаңа агрегаттарды енгізу порттар санымен шектеледі. Ерітінділердің ашықтығы конфигурациясын шарттарына қарай өзгертуге мүмкіндік береді. Шешімдердің артықшылықтары ашықтық, арзан құн, жан-жақтылық және ұтқырлық болып табылады. Дегенмен, ұсынылып отырған шешімнің жұмыс процестерін дәстүрлі шешімдермен салыстыру жоқ

*Кілтті сөздер:* экологиялық мониторинг, парниктік газдар шығарындылары, қоршаған ортаның ластануы, Industry 4.0, IoT, микробақылаушы, автоматтандырылған мониторинг жүйесі.

FTAMP 44.31.31

<https://doi.org/10.48081/ZBEU5480>

**\*Д. Н. Кәкімжанов<sup>1,2</sup>, О. В. Колисниченко<sup>2</sup>, Б. К. Рахадиллов<sup>3</sup>; А. Е. Кусайнов<sup>4</sup>,**

<sup>1</sup>Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.,

<sup>2</sup>Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институты, Украина, Киев қ.,

<sup>3</sup>«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

\*e-mail: [dauir\\_97@mail.ru](mailto:dauir_97@mail.ru)

## **ЭВТЕКТИКАЛЫҚ ҚОРЫТПАДАН ЖАСАЛҒАН ҚОРҒАНЫС ЖАБЫНДАРЫН ИМПУЛЬСТІК- ПЛАЗМАЛЫҚ ӨҢДЕУ**

Бүгінгі таңда өнеркәсіптің алдында тұрған негізгі міндеттердің бірі-бөлшектердің, тораптар мен механизмдердің жоғары сапасын, сенімділігі мен беріктігін қамтамасыз ету. Мұндай бөлшектерге арналған материалдарды жасау ауыр жұмыс жағдайларына байланысты күрделене түседі: жоғары циклдік температура, динамикалық жүктемелер, жоғары жылдамдықты газ ағындарының агрессивті әсері. Бұл мәселенің шешімі арнайы материалдарды қолдана отырып, машина бөлшектерін жасаудың, қалтына келтірудің және қатайтудың тиімді әдістерін қолдану болып табылады. Бұл материалдар белгілі бір физикалық-механикалық қасиеттері бар жабындарды жасауға мүмкіндік береді, бұл экстремалды жұмыс жағдайында бөлшектердің беріктігі мен сенімділігін арттыруға көмектеседі.

Бұл мақалада тығыз балқитын боридтері бар темір негізіндегі эвтектикалық қорытпа ұнтағынан детонациялық әдіспен алынған жабындарды импульстік өңдеу арқылы жабынының қасиеттерін жақсарту жұмыстары жүргізілген. Сондай-ақ, осы мақалада біз  $Fe-TiB_2-CrB_2$  негізіндегі жабындардың құрылымына,

қаттылығына, кедір-бұдырлығына және химиялық құрамына импульсті-плазмалық өңдеудің әсерін зерттедік. Біз осы жабындардың беткі қабаттарының құрылымы мен қасиеттерін өзгерту үшін импульсті плазмалық өңдеуді қолдандық. Механикалық сынақтардың нәтижелері өңдеуден кейін Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> жабындарының қаттылығының жоғарылауын көрсетті. Рентгендік құрылымдық талдауға сәйкес, қаттылықтың бұл жоғарылауы беткі қабаттың фазалық құрамының өзгеруіне, соның ішінде оксид фазаларының түзілуіне және карбид фазаларының көбеюіне байланысты.

*Кілтті сөздер:* тығыз балқитын боридтер, жабын, импульсті-плазмалық өңдеу, қорытпа, қаттылық, детонация.

### **Кіріспе**

Ыстық аймақта (600 °С және одан жоғары) жұмыс істейтін бөлшектердің беттерін қорғау үшін бірқатар деструктивті факторлардың экстремалды әсерінен олардың жұмыс істеуін қамтамасыз ететін қасиеттер кешені бар жаңа материалдар қажет. Мұндай қасиеттер кешенін гетерофазалық қорытпаларда жүзеге асыруға болады.

Бірқатар жұмыстарда [1; 2; 3], тығыз балқитын боридтері бар темір негізіндегі үш немесе одан да көп компонентті қорытпаларда эвтектикалық типтегі политемиялық кесінділер бар екендігі көрсетілген. Кристалдану кезіндегі эвтектикалық қорытпалардың құрылымы темір матрицасының және енгізудің тығыз балқитын фазаларының бірлескен (кооперативті) өсуі кезінде қалыптасады, бұл эвтектикалық астық шегіндегі колониялар. Эвтектикалық кристалдануды тудыратын және жүргізетін енгізу фазалары колонияның өте тармақталған қаңқасын құрайды, оның бұтақтары арасындағы кеңістік темір негізіндегі қатты ерітіндімен металл матрицамен толтырылған. Жұмсақ темір матрица кернеулерді қатты, берік жақтаудың жеке тармақтары арасында өткізеді және қайта бөледі. Осылайша, қарастырылып отырған құйылған эвтектикада композициялық қатайту механизмі жүзеге асырылады. Қорытпалардың бұл күйі 0,9 T<sub>6</sub> (900 – 1100°C) дейінгі температура диапазонында жоғары беріктік пен триботехникалық қасиеттерге байланысты [4, 5].

Салқындату жылдамдығының жоғарылауымен балқымадағы атомдардың диффузиялық қозғалғыштығының шектелуіне байланысты эвтектикалық кристалдану механизмі өзгереді. Белгілі бір критикалық салқындату жылдамдығына жеткенде, жоғары салқындатылған сұйықтықта эвтектиканы құрайтын фазалық кристалдар бір уақытта туады және дербес өседі [6]. Жұқа фазалық конгломерат құрылымы қалыптасады, ол күшейтудің дисперсті механизміне сәйкес келеді. Бұл жағдайда темір матрицасы негізгі жүктемені көтереді, ал дисперсті фазалық кристалдар оны қатайтады, дислокация қозғалысын блоқтайды. Қарастырылып отырған эвтектиканың мұндай құрылымдық күйі жоғары коррозияға төзімділікпен, отарлық құрылымдармен салыстырғанда сынғыштықтың төмендеуімен, термодинамикалық тепе-теңдік жағдайынан ауытқу дәрежесінің жоғарылауымен сипатталады.

Эвтектикалық қорытпадан жасалған жабындардың қасиеттерін арттыруға сыртқы жоғары энергетикалық әсер ету арқылы қол жеткізуге болады. Ең тиімді әдіс – бұл бетті өзгертуді қамтитын күрделі импульстік-плазмалық өңдеу (ИПӨ): магнит өрісі, электр тогы (зарядталған элементар бөлшектер ағыны), металл және металл емес легирлеуші элементтері бар жоғары градиентті жылу ағыны (плазма) [7; 8].

Жоғарыда айтылғандарға байланысты бұл жұмыстың мақсаты Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> жабындарының фазалық құрамы мен қаттылығына импульсті-плазмалық өңдеудің әсерін зерттеу болып табылады.

### Материалдар мен әдістер

Бұл жұмыста титан және хром диборидтері бар темір негізіндегі Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> эвтектикалық қорытпа ұнтағынан жасалған қорғаныс жабындары алынды және зерттелді. Қорытпаның құрамы 1 кестеде көрсетілген (мас.%):

1 – Кесте Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> ұнтағының химиялық құрамы

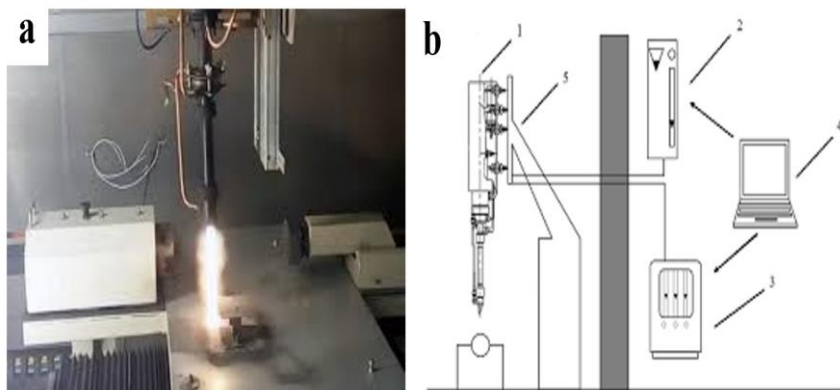
Fe	Ni	Cr	Ti	Al	B
негізі	6-8	20-20.5	2.4-2.5	5,6	2.5-2.6

Жабын алу көп камералы детонациялық қондырғының (сурет 1а) көмегімен жүзеге асырылады, мұнда ұнтақты материалды қыздыру және жеделдету пропан-бутан, оттегі және ауадан тұратын жанғыш газ



қоспасының детонациялық жану өнімдерімен жүзеге асырылады. Жабуға арналған жабдық бұрқуге арналған көп камералы детонациялық құрылғыдан – 1; ұнтақты қоректендіргіштен – 2; Жанғыш қоспаны беруге арналған газ пультінен – 3; технологиялық процесті басқару жүйесінен – 4; детонациялық құрылғыны жылжытуға арналған автоматтандырылған жүйеден – 5. тұрады (сурет 1b)

Көп камералы детонациялық құрылғының құрылымдық ерекшеліктері жанғыш қоспалардың детонациялық жану мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бұл жану өнімдерінің температурасын төмендетеді, олардың жылдамдығын төмендетпейді. Жеделдету және қыздыру үшін бөшкеге ұнтақ дозасы беріледі.



Сурет 1 – Көп камералы детонациялық қондырғы.  
а – жұмыс кезінде қондырғының сыртқы көрінісі ;  
b - қондырғының схемасы.

Жабын алу 50 мм қашықтықта жүзеге асырылды. Ұнтақты қыздыруға және үдетуге арналған саптаманың ұзындығы 300 мм, диаметрі 16 мм. Жанғыш газ қоспасының компоненттерінің құрамы мен шығыны 2-кестеде келтірілген.

## Кесте 2 – Газ шығындары

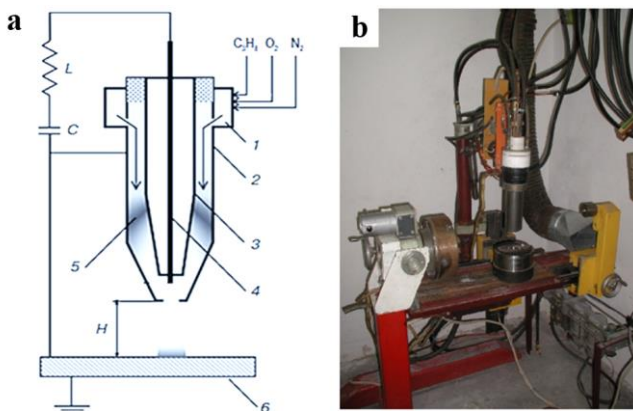
Қоспаның компоненттері:		Шығын, м <sup>3</sup> /сағ
1 камера	O <sub>2</sub>	2,92
	ауа	1,33
	СЗН <sub>8</sub>	0,66
2 камера	O <sub>2</sub>	2,93
	воздух	1,43
	СЗН <sub>8</sub>	0,66
Тасымалдаушы газ:		0,9

Қапталған үлгілердің бір бөлігі Импульс-6 қондырғысында (сурет 2) импульстік плазмамен өңделді. Қолданылатын импульстік коаксиалды плазмалық генератордың ерекшелігі-электр тогын детонациялық толқын фронтының артындағы газдың иондалған аймағымен ауыстыру мүмкіндігі [9,10]. Бұл 1-4 Гц жиілікте және 7 кДж дейін энергиямен импульстік плазма жасауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде беті бірнеше рет импульстік жылу әсеріне ұшырайды. Жылу ағынының қуат тығыздығы  $10^4$  в  $10^6$  Вт / см<sup>2</sup> құрайды. Плазмаға әртүрлі легирлеу элементтерінің кешенін енгізу мүмкіндігі де бар. IPO беткі қабаттың тез қызуын (қыздыру уақыты  $10^{-3}$  ... $10^{-4}$  с) қамтамасыз етеді, содан кейін оны өнім көлеміне жылуды бұру арқылы қарқынды салқындатады. Беткі қабаттардың балкуы мен кристалдануының жоғары жылдамдығы ( $10^7$  К/с дейін) ұсақ дисперсті кристалдық құрылымның және дислокацияның жоғары тығыздығының қалыптасуына ықпал етеді. Импульстік жылу әсері, өңделетін материалдың құрылымын серпімді-пластикалық деформациялау, өңделетін беттік қабаттар арқылы импульстік токтың ( $10$  кА/см<sup>2</sup> дейін) өтуіне байланысты электромагниттік әсермен бірге әртүрлі физика-химиялық процестерді күшейтеді. Импульсті-плазмалық өңдеу параметрлері 3-кестеде келтірілген.

## Кесте 3– Импульсті-плазмалық өңдеу параметрлері

Параметрлер	Өлшем
Конденсатор батареясындағы кернеу (В)	3200

Конденсатор батареясының сыйымдылығы (мкФ)	960
Разряд тізбегінің индуктивтілігі (мкГн)	30
Плазмалық импульстардың жиілігі (Гц)	1.2
Қозғалыс жылдамдығы (мм/сек)	5
Үлгі бетіне дейінгі қашықтық (мм)	50,60



1—детонациялық камера; 2,3 – коаксиалды электродтар; 4 – эрозияға ұшырайтын электрод; 5 – электрод аралық Саңылау; 6 – бұйым;  
Н–үлгі бетіне дейінгі қашықтық.

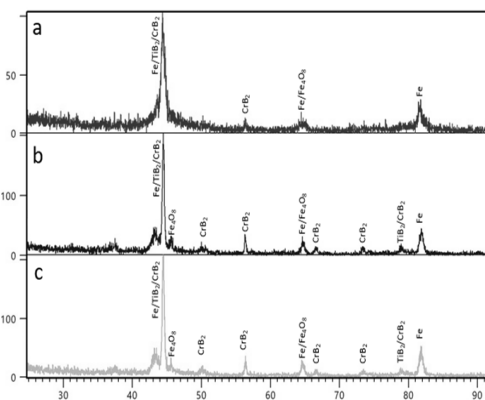
Сурет 2– Импульсті-плазмалық өндеуге арналған кондырғының схемасы (а) жалпы түрі (b)

Жабындардың фазалық құрамы дәстүрлі рентгендік дифракция (РДА) әдістерін қолдана отырып зерттелді, атап айтқанда бұрыштық позицияларды, қарқындылықты және дифракциялық шағылысу профильдерін талдау. Үлгілердің микроқаттылығын өлшеу МЕМСТ 9450-76 (ASTM E384-11) сәйкес метолаб 502 Микротведомерінде,  $p = 0,1$  н инденторға жүктемелер және 10 сек. ұстау уақыты кезінде жүргізілді. Наноинденттеу НАНОСКАН-4D құрылғысында, МЕМСТ Р 8.748-2011 сәйкес, 100 мН жүктеме кезінде жүзеге асырылды. Юнг модулі мен

қаттылығы Оливер мен Фарр әдісімен анықталды. Жабындардың бетінің кедір-бұдырлығы 130 модель профилометрiнiң көмегімен бағаланды.

### Нәтижелер және талқылау

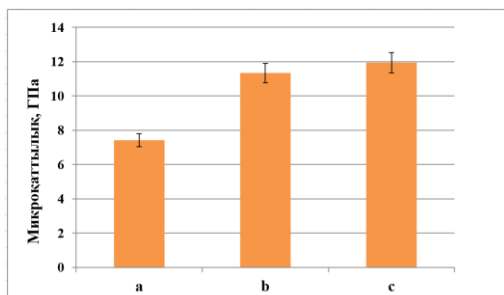
3-суретте импульсті-плазмалық өңдеуден бұрын және кейін жабын бетінің дифрактограммалары көрсетілген. Суреттен ИПӨ-ден кейін Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> жабындарының дифрактограммасында CrB<sub>2</sub> және TiB<sub>2</sub> және Fe<sub>4</sub>O<sub>8</sub> фазаларының жаңа рефлекстері байқалатынын көруге болады. Оның себебі импульстік плазмаға байланысты жабын бетінің қысқа мерзімді активтенуі болып табылады, мұнда құрамында белсенді көміртегі мен оттегі бар плазма тотығу мен карбюризацияның екі бір-бірін жоққа шығаратын химиялық термиялық процестерінің жүруіне әкеледі. Қатайтылған металл матрицасындағы хром оксиді мен карбидтің қатты фазаларының үйлесуі абразивті тозу жағдайында алынған материалдың беріктігін едәуір арттырады



Сурет 3 – Импульсті-плазмалық өңдеуге дейінгі (а) және кейінгі (б-50мм, с-60мм) жабындардың дифрактограммалары

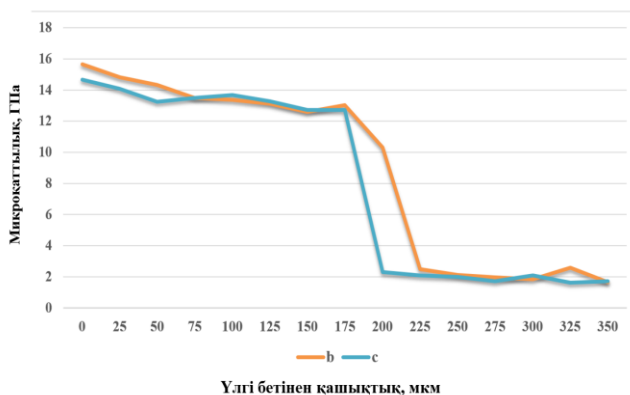
Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> жабындарының микроқаттылығы 4-суретте көрсетілген. ИПӨ-ден кейін Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> жабынының микроқаттылығының жоғарылауы байқалады. Импульсті плазмалық өңдеуге дейінгі жабындардың микроқаттылығы ~7,4 GPa құрады (сурет 4а). ИПӨ-ден кейін микроқаттылық мәні 50 мм ~11,3 GPa, ал 60 мм ~ 11,9 GPa жоғарлағанын көруге болады (сурет.4В, с) Бұл, ең алдымен, тозуға

төзімділігі жоғары карбидті фазаның CrB<sub>2</sub> үлесінің жоғарылауына байланысты



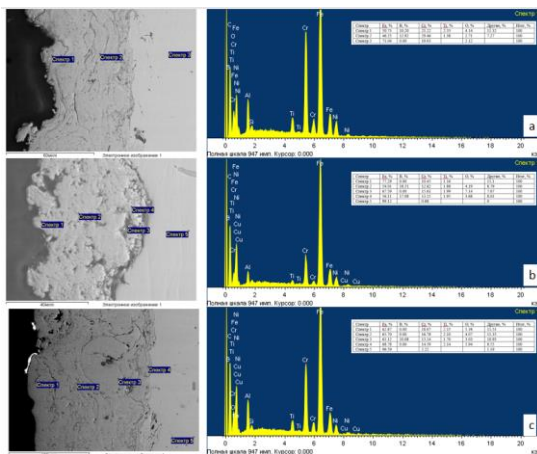
Сурет 4 – Импульсті-плазмалық өндеуге дейінгі (а) және кейінгі (b-50мм, c-60мм) жабын бетінің микроқаттылығы

5-суретте импульстік-плазмалық өндеуден кейін жабындардың қалыңдығы бойынша микроқаттылықтың таралу кестесі көрсетілген. Микроқаттылықтың Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> жабынының тереңдігіне тәуелділік графигі екі үлгі үшін микроқаттылықтың таралуын көрсетеді. Импульсті-плазмалық өндеуден кейінгі жабындардың қаттылығы бастапқы жабынмен салыстырғанда жоғары мәнге ие. Қаттылық мәні өндеу қашықтығына байланысты. Жоғары қаттылық 50 мм қашықтықта импульсті-плазмалық өндеуден кейін байқалады



Сурет 5 – Импульсті-плазмалық өндеуден кейін Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> жабындарының тереңдігі бойынша қаттылықтың таралу графигі (b-50мм, с-60мм)

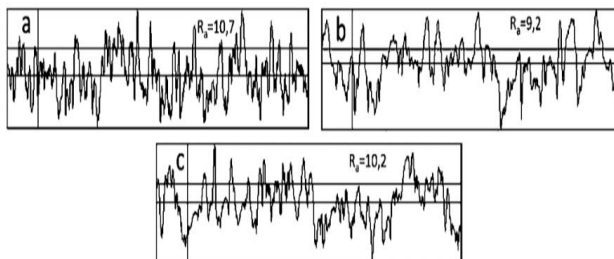
Әр түрлі үлгілер үшін қаттылықтың өзгеруі Fe матрицасындағы TiB<sub>2</sub> және CrB<sub>2</sub> бөлшектерінің концентрациясының өзгеруімен түсіндіріледі [11,12]. Бұл профиль қаттылық мөлшеріне қатты фазаның мазмұны және оның жабындағы таралуы әсер ететіндігін көрсетеді. Бұл сонымен қатар интерфейс маңында жұмсақ металл бөлшектерінің сұйылтылуына байланысты қаттылық тез төмендейтінін көрсетеді; элементтік EDS талдауы (сурет 6) сұйылту жағдайын растады. EDS талдауының көмегімен жабындар мен негізгі материалдың элементтік құрамы анықталды. Алынған мәліметтерден импульсті-плазмалық өндеуден кейін жабынның химиялық құрамы сақталатындығы көрінеді.



Сурет 6 – Импульсті-плазмалық өндеуге дейінгі (а) және кейінгі (b-50мм, с-60мм) спектрлер бойынша жабындарды элементтік талдау

7-суретте кедір-бұдырлықты өлшеу нәтижелері және алынған Fe-TiB<sub>2</sub> - CrB<sub>2</sub> жабынының профильдері көрсетілген. Жабындардың беттері гетерогенді құрылымға ие. Қаптау бетінің кедір-бұдырын бағалаудың негізгі параметрі ретінде профильдің орташа арифметикалық ауытқуы болып табылатын Ra шамасы тандалды. Плазмалық өндеуге дейін алынған

жабындардың кедір-бұдыр параметрі  $R_a = 10,7$  мкм мәніне ие. Плазмалық өңдеуден кейінгі жабындар кедір – бұдырлықтың шамалы төмендеуін көрсетті: өңдеу арақашықтығы 50 мм –  $R_a = 9,2$  мкм, ал өңдеу арақашықтығы 60 мм –  $R_a = 10,2$  мкм. Бұл мәннің төмендеуі жабынның бетін плазмалық реактивті өңдеумен байланысты, онда шығынқы бөлшектердің балкуы жүреді [6].



Сурет 7 – Плазмалық өңдеуден бұрын (А) және кейін (b - 50мм), (c-60мм) Fe-TiB2 - CrB2 жабындарының профилограммалары және бетінің кедір-бұдырлығы

### Қорытынды

Импульстік-плазмалық өңдеудің Fe-TiB2-CrB2 негізіндегі детонациялық жабындардың құрылымы мен қасиетіне әсері зерттелді. Зерттеу нәтижелерін талдау негізінде келесі қорытындылар жасауға болады:

ИПӨ-ден кейін CrB2 және TiB2 және Fe4O8 фазалары үлгі бетінде анықталатыны анықталды, CrB2 шыңдарының қарқындылығы артып, жаңа CrB2 және TiB2 рефлекстері пайда болды, бұл CrB2 фазасының жоғарылауын көрсетеді.

ИПӨ-ден кейін плазмалық импульстардың әсерінен жабындардың бұзылу белгілерінсіз жабындардың құрылымдық элементтерінің балкуы және туралануы байқалады.

ИПӨ-ден кейін үлгі бетінің кедір-бұдыр көрсеткішінің төмендеуі шығынқы фрагменттер мен кеуектердің еруіне байланысты.

Импульсті-плазмалық өңдеу Fe-TiB2-CrB2 жабын материалының қаттылығын ~12,4 ГПа-дан (өңделмеген) ~15,6 ГПа-ға дейін арттыруға ықпал етеді;

Алынған мәліметтерге сүйене отырып, 50 мм қашықтықта импульсті-плазмалық өңдеу оңтайлы болып табылады.

Ыстық аймақта жұмыс істейтін бөлшектердің беттерін қорғаудың оңтайлы әдісі ретінде детонациялық бүркүді және кейіннен импульсті-плазмалық өңдеуді қамтитын жабындарды қолданудың осы біріктірілген әдісін ұсынуға болады

#### **Қаржыландыру туралы ақпарат**

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің ғылыми зерттеулерін гранттық қаржыландыру шеңберінде орындалды №АР14870977.

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Панарин, В. Е., Тюрин, Ю. Н., Колисниченко, О. В., Шматко, О. А., Захаров, С. М., Свавильный, Н. Е.** Защитные покрытия из эвтектического сплава на основе железа с тугоплавкими боридами [Текст] // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2016. – №. 6. – С. 15–20.

2 **Панарин, В. Е., Цях, Р., Захаров, С. М., Шматко О. А.** Влияние скорости охлаждения жидких эвтектических сплавов на основе железа на дисперсность их кристаллической структуры [Текст] // *Вестник Черкасского национального университета : Серия «Физико-математические науки».* –2008. – №.2. – С. 5–13.

3 **Паустовский, А. В., Ткаченко, Ю. Г., Христов, В. Г., Алфинцева, Р. А., Юрченко, Д. З.** Материалы для электроискрового упрочнения и восстановления изношенных металлических поверхностей [Текст] // *Электронная обработка материалов.* – 2016. – Т. 52. – №. 1. – С. 13–21.

4 **Киндрачук, М. В., Панарин, В. Е., Москаленко, Ю. Н.** Влияние термоциклической обработки на структуру и свойства плазменных покрытий из эвтектических сплавов на основе железа [Текст] // *Металловедение и обработка металлов.* – 1995. – №. 1. – С. 38–45.

5 **Панарин, В. Е., Захаров, С. М., Шматко, О. А., Кисель, В. М., Терентьев, А. Е.** Плазменное покрытие из эвтектического сплава квазитройной системы Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> [Текст] // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2014. – №. 8. – С. 108–112-108–112.



**Панарин, В. Е.** Структурные изменения в эвтектических сплавах железа, затвердевших с различными скоростями [Текст] // Металло-ведение и обработка металлов. – 1997. – № 1. – С. 20-25.

**Kengesbekov, A. B., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Y. N., Magazov, N. M., Kylyshkanov, M. K., Sagdoldina, Z. B.** The influence of pulse-plasma treatment on the phase composition and hardness of Fe-TiB 2-CrB 2 coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2021. – Т. 5. – №. 2. – С. 155-162.

**Kakimzhanov, D. Rakhadilov, B., Sulyubayeva, L., Dautbekov, M.** Influence of Pulse-Plasma Treatment Distance on Structure and Properties of Cr3C2-NiCr-Based Detonation Coatings [Text] //Coatings. – 2023. – Т. 13. – №. 11. – С. 1824.

**Турин, Ю. Н., Жадкевич, М. Л.** Плазменные упрочняющие технологии [Текст] // Наукова думка. – 2008. – Т. 215.

**Tyurin Y. N., Kolisnichenko, O. V.** Plasma-detonation technology for modification of the surface layer of metal parts [Text] // The Open Surface Sci. J.– 2009. – №.1. – С.13-19.

**Kumar, A., Batham, H., Das, A. K.** Microhardness of Fe-TiB2 composite coating on AISI 304 stainless steel by TIG coating technique [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Т. 39. – С. 1291-1295.

**Pogrebnyak, A. D., Tyurin, Y. N.** Modification of material properties and coating deposition using plasma jets [Text] //Physics-USpekhi. – 2005. – Т. 48. – №. 5. – С. 487.

## REFERENCES

1 **Panarin, V. E. Tyurin, YU. N., Kolisnichenko, O. V., SHmatko, O. A., Zaharov, S. M.,Svavil'nyj, N. E.** Zashchitnye pokrytiya iz evtekticheskogo splava na osnove zheleza s tugoplavkimi boridami [Protective coatings from eutectic iron-based alloy with refractory borides] [Text]. // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2016. – №. 6. – P. 15–20

2 **Panarin, V. E., Cyah, R. Zaharov, S. M., Shmatko, O. A.** Vliyanie skorosti ohlazhdeniya zhidkih evtekticheskikh splavov na osnove zheleza na dispersnost' ih kristallicheskoj struktury [Effect of cooling rate of liquid eutectic iron-based alloys on the dispersibility of their crystal structure] [Text]. // Vestnik

Cherkasskogo nacional'nogo universiteta : Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki. –2008. – № 2. – P. 5-13.

3 **Paustovskij, A. V., Tkachenko, YU. G., Hristov, V. G., Alfinceva, R. A., YUrchenko, D. Z.** Materialy dlya elektroiskrovogo uprochneniya i vosstanovleniya iznoshennyh metallicheskih poverhnostej [Materials for electrospark peening and restoration of worn metal surfaces] [Text]. Elektronnaya obrabotka materialov. – 2016. – T. 52. – №. 1. – P. 13–21.

4 **Kindrachuk, M. V., Panarin, V. E., Moskalenko, Yu. N.** Vliyanie termociklicheskoj obrabotki na strukturu i svoystva plazmennyyh pokrytij iz evtekticheskikh splavov na osnove zheleza [Influence of thermocyclic treatment on structure and properties of plasma coatings from eutectic iron-based alloys] [Text]. Metallovedenie i obrabotka metallov. – 1995. – №. 1. – P. 38–45.

5 **Panarin, V. E., Zaharov, S. M., SHmatko, O. A., Kisel', V. M., Terent'ev, A. E.** Plazmennoe pokrytie iz evtekticheskogo splava kvazitrojnoj sistemy Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> [Plasma coating of eutectic alloy of quasi-triple Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> system] [Text]. Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2014. – №. 8. – P. 108–112.

**Panarin, V. E.** Strukturnye izmeneniya v evtekticheskikh splavah zheleza, zatverdevshih s razlichnymi skorostyami [Structural changes in eutectic iron alloys solidified at different rates] [Text]. Metallovedenie i obrabotka metallov. – 1997. – № 1. – P. 20-25.

**Kengesbekov, A. B., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Y. N., Magazov, N. M., Kylyshkanov, M. K., Sagdoldina, Z. B.** The influence of pulse-plasma treatment on the phase composition and hardness of Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2021. – T. 5. – №. 2. – C. 155-162.

**Kakimzhanov, D. Rakhadilov, B., Sulyubayeva, L., Dautbekov, M.** Influence of Pulse-Plasma Treatment Distance on Structure and Properties of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr-Based Detonation Coatings [Text] // Coatings. – 2023. – T. 13. – №. 11. – C. 1824.

**Tyurin YU. N., ZHadkevich M. L.** Plazmennyye uprochnyayushchie tekhnologii [Plasma hardening technologies] [Text]. Naukova dumka. – 2008. – T. 215.

**Tyurin Y. N., Kolisnichenko, O. V.** Plasma-detonation technology for modification of the surface layer of metal parts [Text] // The Open Surface Sci. J.– 2009. – №.1. – С.13-19.

**Kumar, A., Batham, H., Das, A. K.** Microhardness of Fe-TiB<sub>2</sub> composite coating on AISI 304 stainless steel by TIG coating technique [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Т. 39. – С. 1291-1295.

**Pogrebnyak, A. D., Tyurin, Y. N.** Modification of material properties and coating deposition using plasma jets [Text] //Physics-Uspekhi. – 2005. – Т. 48. – №. 5. – С. 487.

01.05.24 ж. баспаға түсті.

25.04.24 ж. түзетулімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\**Д. Н. Какимжанов<sup>1,3</sup>, О. В. Колисниченко<sup>2</sup>, Б. К. Рахадиллов<sup>3</sup>,  
А. Е. Қусайнов<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Восточно – Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск,

<sup>3</sup>Институте электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины, Украина, г. Киев,

<sup>1,3,4</sup>ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск  
Поступило в редакцию 20.02.24.

Поступило с исправлениями 28.02.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА**

*Одной из основных задач, стоящих сегодня перед промышленностью, является обеспечение высокого качества, надежности и долговечности деталей, узлов и механизмов. Изготовление материалов для таких деталей усложняется из-за тяжелых условий эксплуатации: высоких циклических температур, динамических нагрузок, агрессивного воздействия высокоскоростных газовых потоков. Решением данной проблемы является применение эффективных методов изготовления,*

восстановления и закаливания деталей машин с применением специальных материалов. Эти материалы позволяют создавать покрытия с определенными физико-механическими свойствами, что способствует повышению прочности и надежности деталей в экстремальных условиях эксплуатации.

В данной статье проведена работа по улучшению свойств покрытия путем импульсной обработки покрытий, полученных детонационным методом из порошка эвтектического сплава на основе железа с тугоплавкими боридами. А также в данной статье мы исследовали воздействие импульсно-плазменной обработки на структуру, твердость, шероховатость и химический состав покрытий на основе  $Fe-TiB_2-CrB_2$ . Мы применили импульсно-плазменную обработку для изменения структуры и свойств поверхностных слоев этих покрытий. Результаты механических тестов показали увеличение твердости покрытий  $Fe-TiB_2-CrB_2$  после обработки. Согласно рентгеноструктурному анализу, это увеличение твердости связано с изменениями в фазовом составе поверхностного слоя, включая образование оксидных фаз и увеличение количества карбидных частиц.

*Ключевые слова:* тугоплавкие бориды, покрытие, импульсно-плазменная обработка, сплав, твердость, детонация.

\*D. N. Kakimzhanov<sup>1,2</sup>, O. V. Kolisnichenko<sup>2</sup> B. K. Rakhadilov<sup>3</sup>

A. E. Kussainov<sup>1,3</sup>

<sup>1,4</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

<sup>2</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy

of Sciences of Ukraine, Kyiv;

<sup>1,3,4</sup>Plasmascience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Received 20.02.24.

Received in revised form 28.02.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## PLASMA TREATMENT OF PROTECTIVE COATINGS OF EUTECTIC ALLOYS

*One of the main tasks facing the industry today is to ensure high quality, reliability and durability of parts, assemblies and mechanisms. Manufacturing of materials for such parts is complicated due to severe operating conditions: high cyclic temperatures, dynamic loads, aggressive impact of high-speed gas flows. The solution to this problem is the application of effective methods of manufacturing, restoration and hardening of machine parts with the use of special materials. These materials make it possible to create coatings with specific physical and mechanical properties, which helps to increase the strength and reliability of parts under extreme operating conditions.*

*In this paper, we have carried out the work on improving the coating properties by pulse treatment of coatings obtained by detonation method from powder of eutectic iron-based alloy with refractory borides. And also in this paper we investigated the effect of pulse plasma treatment on the structure, hardness, roughness and chemical composition of Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> based coatings. We applied pulsed plasma treatment to modify the structure and properties of the surface layers of these coatings. Mechanical test results showed an increase in the hardness of Fe-TiB<sub>2</sub>-CrB<sub>2</sub> coatings after treatment. According to X-ray diffraction analysis, this increase in hardness is due to changes in the phase composition of*

*the surface layer, including the formation of oxide phases and an increase in the number of carbide particles.*

*Keywords: refractory borides, coating, pulse plasma treatment, alloy, hardness, detonation.*

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/AULO7076>**\*А. Г. Калтаев***Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар**e-mail: [abdulla911@mail.ru](mailto:abdulla911@mail.ru)*

## **УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ**

*Отмечено, что современные токовые защиты электродвигателей, в основном, не учитывают витковые замыкания из-за низкой чувствительности к ним, и как результат реагируют только если замкнется большее количество витков или витковое замыкание перейдет в междуфазное. Рассмотрены современные методы защиты, позволяющие выявлять витковые замыкания внутри электродвигателя, отмечены их достоинства и недостатки. Выявлено, что наиболее чувствительным к витковым замыканиям является метод, контролирующий магнитное поле с помощью измерительных органов, размещенных внутри лобовой части электродвигателя между торцом статора и подшипниковым щитом. Предложена схема устройства защиты от витковых замыканий в одной фазе статора электродвигателя построенная по этому методу. Для повышения надежности схемы устройства защиты были применены дублирование измерительных и реагирующих органов, и функциональная диагностика. Принцип которой заключается в контроле исправности измерительных органов защиты при витковом замыкании, что позволяет исключить ущерб от несрабатывания устройства защиты. Диагностика осуществлена путем размещения геркона внутри обмоток управления, выходы которых подключены к измерительным органам защиты. Подробно описан принцип действия защиты при выявлении витковых замыканий и выявлении*

*неисправности в устройстве защиты во время виткового замыкания.*

*Ключевые слова: релейная защита, электродвигатель, индукция магнитного поля, диагностика, геркон, витковые замыкания.*

## **Введение**

Низковольтные электродвигатели (ЭД) получили наибольшее распространение в современном промышленном комплексе, а в последнее время и в автомобилестроении [1]. Повсеместное их использования неоднократно приводило к вопросу совершенствования уже существующих устройств релейной защиты ЭД [2; 3; 4], которые предназначены для выявления и отключения следующих аварийных и аномальных режимов работы ЭД (повреждений) [5]: короткие замыкания (КЗ) на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью; витковые и междуфазные (двух- и трехфазные) КЗ в обмотках статора ЭД, питающего кабеля или в вводной коробке; перегрузки, вызванные длительным протеканием повышенных токов в обмотке статора, нарушением системы охлаждения или перегрузкой механизма, вращаемого ЭД. Особый интерес представляют витковые замыкания (ВЗ), т.к. современные защиты в виду их низкой чувствительности к ним, не учитывают такой вид повреждений [6, 7], до тех пор, пока не замкнется большее количество витков или ВЗ не перейдет в междуфазное КЗ. В данной работе предложена схема устройства защиты ЭД повышенной надежности, позволяющая выявлять и отключать ВЗ на ранней стадии.

## **Материалы и методы**

Известно, что в настоящее время применяются следующие методы для защиты ЭД от ВЗ:

1 Метод, контролирующий токи обратной последовательности, где при ВЗ или любой другой несимметрии на выходе фильтра токов обратной последовательности появляется напряжение, пропорциональное его току, что позволяет судить наличии ВЗ.

2 Метод, при котором контролируют магнитное поле с помощью катушек индуктивности (КИ). На КИ, размещенные внутри лобовой части ЭД между торцом статора и подшипниковым щитом, воздействует



магнитное поле, состоящее из геометрической суммы магнитных потоков обмоток статора и ротора, и при ВЗ в КИ индуцируется электродвижущая сила.

3 Метод, контролирующий углы между токами фаз ЭД. Данный метод позволяет контролировать и преобразовывать углы сдвига по фазе между векторами фазных токов, возникающие при ВЗ.

4 Метод, контролирующий температуру обмотки статора ЭД. При этом различают измерения при выключенном и включенном состоянии ЭД. В первом состоянии измеряют сопротивление обмотки постоянному току, которое затем сопоставляется с графиком, а во втором – измеряют температуру с помощью температурных индикаторов, уложенных в пазы статора ЭД вместе с его обмоткой.

Выше рассмотренные методы защиты имеют свои достоинства и недостатки при выявлении ВЗ. В этой работе был выбран метод защиты, контролирующей магнитное поле ЭД [8], который обладает наилучшими показателями быстродействия и чувствительности при выявлении ВЗ среди известных методов защит, и способен почувствовать от 1% замкнутых витков, и даже определить поврежденную секцию, как это показано в [9]. Однако, использование такого метода связано с вмешательством в конструкцию ЭД, что значительно усложняет использование такого рода защит, а индивидуальная подборка КИ для каждого типа ЭД делает невозможным их применение в других ЭД. Таким образом наиболее приемлемым вариантом использования таких защит является применение в пожаро- и взрывоопасных средах как на крупных ЭД, так и на ЭД малой мощности, где ранее обнаружение и мгновенное отключение позволит избежать значительного ущерба как для ЭД, так и для обслуживающего персонала.

## Результаты и обсуждение

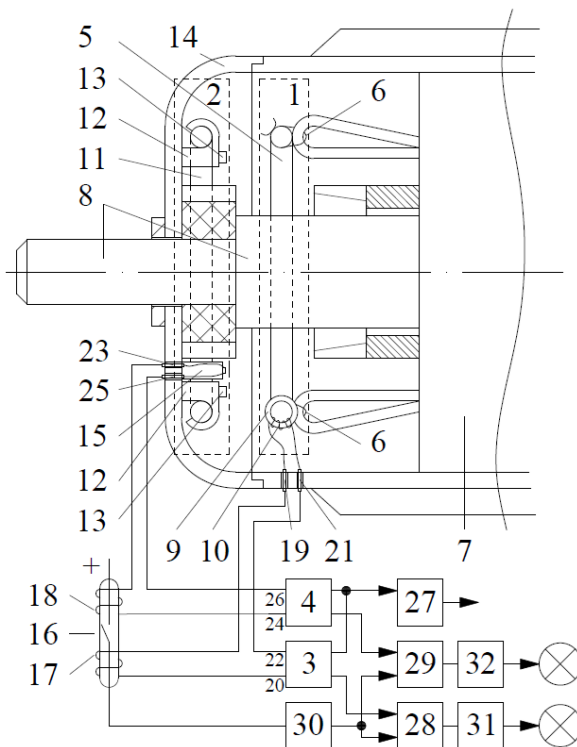


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства защиты и его крепление в лобовой части электродвигателя

Схема предлагаемого устройства защиты ЭД от ВЗ (рис. 1), так же как и в [10] содержит первый 1 и второй 2 блоки (измерительные органы) защиты с первым 3 и вторым 4 реагирующими органами, соответственно. Первый блок 1 защиты состоит из первого кольца 5, которое закреплено при помощи хомутов 6 на статоре 7 внутри электродвигателя так, что его плоскость перпендикулярна оси вращения ротора 8, а геометрический центр находится на этой оси. Первое кольцо 5 выполнено короткозамкнутым и охвачено ферромагнитным сердечником 9, на который намотана первая обмотка 10. Второй блок 2 защиты состоит из второго кольца 11, которое закреплено при помощи хомутов 12 и винтов 13 на подшипниковом щите 14 внутри электродвигателя, также как и первое

кольцо 5. В расщелку второго кольца 11 своей первичной обмоткой подключен трансформатор тока 15.

Геркон 16 со второй 17 и третьей 18 обмотками, включенными встречно друг другу. Первый вывод 19 первой обмотки 10 через вторую обмотку 17 подключен к первому входу 20 первого реагирующего органа 3, а её второй вывод 21 – ко второму входу 22 первого реагирующего органа 3. Первый вывод 23 вторичной обмотки трансформатора тока 15 через третью обмотку 18 подключен к первому входу 24 второго реагирующего органа 4, а её второй вывод 25 – ко второму входу 26 второго реагирующего органа 4. Первые выходы первого 3 и второго 4 реагирующих органов подключены к исполнительному органу 27, а их вторые выходы - к первому 28 и второму 29 элементам И, соответственно. Ко вторым входам первого 28 и второго 29 элементов И через первый элемент ПАМЯТЬ 30 подключен выход геркона 16. Выходы первого 28 и второго 29 элементов И через второй 31 и третий 32 элементы ПАМЯТЬ, соответственно, подключены к цепям сигнализации.

Схема предложенного устройства работает следующим образом. В режимах пуска, нагрузки и холостого хода геометрическая сумма магнитных потоков, созданных токами в фазах, в лобовой части статора 7 ЭД, равны и сдвинуты относительно друг друга на угол  $120^\circ$ . В результате чего сумма магнитных потоков, наведенная на кольцо 5 блока 1 защиты и кольцо 11 блока 2, равна нулю. Напряжение на входах реагирующих органов 3(4) отсутствует. Защита не срабатывает. При ВЗ в любой фазе статора 7 ЭД появляется магнитное поле короткозамкнутого витка, которое нарушает баланс в магнитном поле лобовой статора 7 ЭД, и на кольцах 5(11) индуцируется электродвижущая сила (ЭДС). В результате чего через ферромагнитный сердечник 9 на обмотке 10 индуцируется ЭДС, которая через выводы 19(21) подается к реагирующему органу 3. Одновременно с этим со вторичной обмотки трансформатора тока 15 ЭДС через выводы 23(25) подается к реагирующему органу 4. В реагирующих органах 3(4) наведенные ЭДС сравниваются с эталонными, и в случае их превышения, реагирующие органы через исполнительный орган 27 подают сигналы на отключение ЭД. Защита срабатывает.

Для обеспечения надёжного функционирования защиты контролируют исправность её блоков 1(2) защиты. При ВЗ, в случае

исправности обоеи блоков защиты, нормально разомкнутый геркон 16 со второй 17 и третьей 18 обмотками не срабатывает, т. к. обмотки включены встречно, а токи в них одинаковы и результирующий магнитный поток вызван только небалансом, от которого уставка срабатывания геркона 16 отстроена. При ВЗ, в случае неисправности одного из блоков, например блока 1 защиты, действующая на геркон 16 разность магнитных потоков обмоток превосходит уставку срабатывания, и геркон 16 замыкает свои контакты подавая сигнал на элемент ПАМЯТЬ 30. Сигналы с реагирующего органа 4 и элемента ПАМЯТЬ 30 поступают на вход элемента И 29, с выхода которого сигнал поступает на элемент ПАМЯТЬ 32, который его запомнит. И после срабатывания защиты в цепи сигнализации будет подан сигнал о неисправности блока 1 защиты. Аналогично защита будет работать при неисправности блока 2 защиты.

#### **Информация о финансировании**

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP15473215).

#### **Выводы**

Предложенная схема устройства защиты электродвигателя от витковых замыканий в одной фазе обладает повышенной надежностью и чувствительностью, за счет использования в качестве датчиков тока (измерительных органов) кольцевых преобразователей, расположенных в лобовой части электродвигателя, и их дублирования вместе с реагирующими органами. Устройство снабжено функциональной диагностикой, которая в дальнейшем позволит исключить ущерб от её несрабатывания, что также повышает её надежность. Эти преимущества позволяют предложенному устройству защиты быть глобально конкурентоспособным.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Habetler, T. G.** Current-based condition monitoring of electrical machines in safety critical applications // IEEE In 2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference, (2008, September), pp. 21-26.

2 **Корогодский В. И., Кужеков С. Л., Паперно Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.: ил.

3 **Farag, S. F., Bartheld, R. G., & May, W. E.** Electronically enhanced low voltage motor protection and control // IEEE In Conference Record Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference 1993, (1993, May), pp. 166-174.

4 **Tallam, R. M., Lee, S. B., Stone, G. C., Kliman, G. B., Yoo, J., Habetler, T. G. and Harley, R. G.** A survey of methods for detection of stator-related faults in induction machines. // IEEE Transactions on Industry Applications, 43(4), 2007, pp.920-933.

5 **Соловьев А. Л.** Защита асинхронных электрических двигателей напряжением 0,4 кВ. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 96 с.

6 **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.

7 **Гимоян Г.Г.** Релейная защита горных электроустановок. Изд.2, перераб. и доп. – М. : «Недра», 1978. – 349 с.

8 **Клецель М. Я., Мануковский А. В., Новожилов А. Н.** Способ защиты электрической машины от коротких замыканий // Авторское свидетельство СССР № 1495896; опубл. 23.07.89, бюл. № 27. – 4 с: ил.

9 **Клецель М. Я., Новожилов А. Н., Поляков В. Е.** Электрическая трехфазная машина с встроенным блоком для защиты от повреждений обмотки статора // Авторское свидетельство СССР № 1046852; опубл. 07.10.83, бюл. № 37. – 3 с: ил.

10 **Клецель М. Я., Калтаев А. Г.** Устройство для защиты электродвигателя от витковых замыканий // Патент РК № 34407; опубл. 19.06.2020, бюл. №24. – 4 с.: ил.

## REFERENCES

1 **Habetler, T. G.** Current-based condition monitoring of electrical machines in safety critical applications // IEEE In 2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference, (2008, September), pp. 21-26.

2 **Korogodskij, V. I., Kuzhekov, S. L., Paperno, L. B.** Relejnaya zashhita e`lektrodvigatelej napryazheniem vy`she 1 kV. – Moscow : E`nergoatomizdat, 1987. – 248 s.: il.

3 **Farag, S. F., Bartheld, R. G., & May, W. E.** Electronically enhanced low voltage motor protection and control // IEEE In Conference Record Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference 1993, (1993, May), pp. 166-174.

4 **Tallam, R.M., Lee, S. B., Stone, G. C., Kliman, G. B., Yoo, J., Habetler, T. G. and Harley, R. G.** A survey of methods for detection of stator-related faults in induction machines. // IEEE Transactions on Industry Applications, 43(4), 2007, pp.920-933.

5 **Solov`ev, A.L.** Zashhita asinkhronny`kh e`lektricheskikh dvigatelej napryazheniem 0,4 kV. – Moscow : NTF «E`nergoprogress», 2007. – 96 p.

6 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashhita i avtomatika sistem e`lektrosnabzheniya: uchebnik dlya vuzov. – Izd. 4-e, perer. i dop. – Moscow : Vy`sshaya shkola, 2006. – 639 p.

7 **Gimoyan, G. G.** Relejnaya zashhita gorny`kh e`lektrostanovok. Izd.2, pererab. i dop. – Moscow : «Nedra», 1978. – 349 p.

8 **Kleczel`, M. Ya., Manukovskij, A. V., Novozhilov, A. N.** Sposob zashhity` e`lektricheskoy mashiny` ot korotkikh zamy`kanij // Avtorskoe svidetel`stvo SSSR № 1495896; opubl. 23.07.89, byul. № 27. – 4 s: il.

9 **Kleczel`, M. Ya., Novozhilov, A. N., Polyakov, V. E.** E`lektricheskaya trekhfaznaya mashina s vstroenny`m blokom dlya zashhity` ot povrezhdenij obmotki statora // Avtorskoe svidetel`stvo SSSR № 1046852; opubl. 07.10.83, byul. № 37. – 3 s: il.

10 **Kleczel`, M. Ya., Kaltayev, A. G.** Ustrojstvo dlya zashhity` e`lektrodvigatelya ot vitkovy`kh zamy`kanij // Patent RK № 34407; opubl. 19.06.2020, byul. №24. – 4 s.: il.

Поступило в редакцию 01.05.24.

Поступило с исправлениями 01.05.24.

Принято в печать 02.06.24.

*А. Г. Калтаев*

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.05.24 ж. баспаға түсті.

01.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ЭЛЕКТР ҚОЗГАЛТҚЫШЫН ОРАМДЫҚ ТҰЙЫҚТАЛУДАН ҚОРҒАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ**

*Электр қозғалтқыштарының қазіргі заманғы ток қорғанысы, негізінен, орамдық тұйықталуларға сезімталдығының төмендігіне байланысты оларды ескермейді және нәтижесінде егер орамдардың көп саны тұйықталса ғана немесе орамдық тұйықталу фаза аралық тұйықталуға ауысса ғана іске қосылады. Электр қозғалтқышының ішіндегі орамдық тұйықталуларды анықтауға мүмкіндік беретін қорғаудың заманауи әдістері қарастырылды, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері атап өтілді. Орамдық тұйықталуларға ең сезімтал – бұл статор ұшы мен мойынтірек қалқаны арасындағы электр қозғалтқышының алдыңғы бөлігіне орналастырылған индуктивтілік катушкалардың көмегімен магнит өрісін бақылайтын әдіс. Осы әдіс бойынша құрылған электр қозғалтқышының статорының бір фазасында орамдық тұйықталудан қорғау құрылғысының схемасы ұсынылған. Қорғаныс құрылғысының схемасының сенімділігін арттыру үшін өлшеу және әсер ету органдарының қосарлануы және функционалды диагностика қолданылды. Оның принципі орамдық тұйықталу кезінде қорғаныстың өлшеу органдарының дұрыстығын бақылау болып табылады, бұл қорғаныс құрылғысының іске қосылмауынан болатын зиянды болдырмауға мүмкіндік береді. Диагностика герконды басқару орамаларының ішіне орналастыру арқылы жүзеге асырылады, олардың шықпасы қорғаныстың өлшеу органдарына қосылған. Орамдық тұйықтау кезінде қорғаныс құрылғысында орамдық тұйықталуларды анықтауда және ақауларды анықтауда қорғаныс принципі егжей-тегжейлі сипатталған.*

*Кілтті сөздер: релелік қорғаныс, электр қозғалтқышы, магнит орісінің индукциясы, диагностика, геркон, орамдық тұйықталулар.*

A. G. Kaltayev

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 01.05.24.

Received in revised form 01.05.24.

Accepted for publication 02.06.24.

### **DEVICE FOR PROTECTING ELECTRIC MOTOR AGAINST TURN FAILURES**

*It is noted that modern current protection of electric motors generally do not take into account turn-to-turn faults due to low sensitivity to them, and as a result they react only if more turns are closed or the turn-to-turn fault turns into a phase-to-phase fault. Modern protection methods are considered that make it possible to detect turn short circuits inside the electric motor, and their advantages and disadvantages are noted. It was revealed that the most sensitive to turn short circuits is the method that controls the magnetic field using inductors placed inside the frontal part of the electric motor between the stator end and the bearing shield. A scheme for protection against turn faults in one phase of an electric motor stator, built using this method, is proposed. To increase the reliability of the protection device circuit, duplication of measuring and response organs and functional diagnostics were used. The principle of which is to monitor the serviceability of the measuring protection elements during a turn fault, which makes it possible to eliminate damage from the failure of the protection device. Diagnostics is carried out by placing a reed switch inside the control windings, the outputs of which are connected to the measuring protection elements. The principle of operation of the protection when detecting turn faults and identifying a malfunction in the protection device during a turn fault is described in detail.*

*Keywords: relay protection, electric motor, magnetic field induction, diagnostics, reed switch, turn circuits.*



FTAMP 28.23.27

<https://doi.org/10.48081/WLYE9463>

**И. Б. Карымсакова<sup>1</sup>, Б. Д. Бекенова<sup>2</sup>, \*Е. А. Оспанов<sup>1</sup>,  
Н. К. Курмангалиева<sup>3</sup>, А. К. Калиева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University, Республика Казахстан, г. Семей

<sup>2</sup>Turan-Astana University, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>3</sup>Alikhan Bokeikhan University, Республика Казахстан, г. Семей

\*e-mail: [78oea@mail.ru](mailto:78oea@mail.ru)

## **ROBOGUIDE V 9.40 БАҒДАРЛАМАСЫНДА FANUC LR MATE 200ID РОБОТЫМЕН ИМПЛАНТТАР БЕТІН МИКРОПЛАЗМАЛЫҚ БҮРКЕУДІ МОДЕЛЬДЕУ**

Мақаладағы зерттеулер Roboguide V 9.40 симуляторы арқылы Fanuc LR Mate 200id манипуляциялық роботы арқылы титан импланттарының бетіне микроплазмалық бүркеуді модельдеуді сипаттауға бағытталған. Бұл зерттеулердің нәтижелері титан импланттарын микроплазмалық бүркеу кезінде манипуляциялық роботтың қозғалыс траекториясын одан әрі құру әдістерін тәжірибеде қолдануға бағытталған. Төртінші ретті Эрмит интерполяциялық полиномды қолдану арқылы ұсынылған тәсіл белгілі бір нүктелердегі роботтың жылдамдығын ескере отырып қозғалыс траекториясын құруға мүмкіндік береді. Роботтың оңтайлы траекториясын құру үшін екінші туындының үздіксіздік шарттарын қанағаттандыру қажет. Бұл манипуляциялық роботтардың қозғалысының динамикалық сипаттамаларына байланысты. Бұл шарттарды қамтамасыз ету үшін сплайнның ретін төртіншіге дейін арттыру қажет. Төртінші ретті Эрмит сплайн құрастырылды және сплайн коэффициенттері сыпыру әдісімен есептелді. Matlab ортасында берілген координаталар мен жылдамдықтармен төртінші ретті Эрмит интерполяциялық сплайнды құруға мүмкіндік беретін сценарий жазылған. Эрмиттік көпмушеліктің төртінші дәрежелі құрастырылған моделінен қозғалыстың аралық координаталары есептелді, ал Roboguide V.9.40 виртуалды симуляторында импланттардың 6 түрінің құрамдас бөліктері

*үшін роботтың қозғалысы имитацияланды: жамбас буынының имплантаты, жілінішік. имплант, омыртқа имплантаты, саусақ буын имплантаты, иық буыны имплантаты, жатыр мойны имплантаты.*

*Кілтті сөздер Эрмит полиномы, программалық траектория, интерполяция, траектория құру, робот, TP-программа.*

## **Кіріспе**

Медицинада импланттарды қолдану кеңінен тарауда. Импланттарды өндіру мәселесі маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Импланттардың ағзаға жақсы бекінуі үшін олардың бүркеу сапасы жоғару болу керек. Импланттарды робот көмегімен бүркеу өте ыңғайлы және оңтайлы шешімдердің бірі болып табылады. Робот көмегімен механикалық процесстерді модельдеу өте кеңінен қолданылған. Бүркеу процесінде де роботты қолданудың өте көп артықшылықтары бар: бүркеу дәлдігі, уақытты үнемдеу, жұмсалатын материал шығынын азайту және т.б. Механикалық қозғалыстарды модельдеу үшін математикалық модельдер ретінде интерполяциялық полиномдар кеңінен қолданылады. Координата және жылдамдықты беру үшін Эрмит полиномдарын қолданудың теориялық мәселелері бұрын ұсынылған.

Материалдар мен тәсілдер.

Зерттеу барысында импланттар формасы, құрылымына қатысты ғылыми материалдарға шолу жасалды. Қозғалыстың координаталырын есептеу үшін математикалық интерполяциялау әдістері қолданылды. Программалық модельдеу үшін Матлаб ортасында координаталар мен жылдамдықтар мәндері есептелді. Робот қозғалысын модельдеу үшін Roboguide V 9.40 бағдарламасында TP-программа құрылды.

## **Зерттеу**

Роботтар көмегімен технологиялық процесстерді модельдеу өте кеңінен қолданылған. Шандату процесінде де роботты қолданудың өте көп артықшылықтары бар: бүркеу дәлдігі, уақытты үнемдеу, жұмсалатын материал шығынын азайту және т.б. Механикалық қозғалыстарды модельдеу үшін математикалық модельдер ретінде интерполяциялық полиномдар кеңінен қолданылады. Координата және жылдамдықты беру үшін Эрмит полиномдарын қолдану есептері ұсынылған. Бірақ қолданыстар үшінші дәрежелі полиноммен іске асырылған.

Біз траекторияны модельдеу үшін Эрмиттың төртінші дәрежелі полиномын қолдануды ұсынамыз.

Сплайнды келесідей интерполяциялық полином ретінде аламыз:

$$q_i(t_i) = \theta_i; q_i(t_{i+1}) = \theta_{i+1};$$

$$\dot{q}_i(t_i) = v_i; \dot{q}_i(t_{i+1}) = v_{i+1}, i = \overline{1, n-1} \quad (1)$$

мұнда  $q_i(t)$  – полином,  $\theta(t_i) = \theta_i$  - жалпыланған координаталар,  $v_i = v(t_i)$  - өту жылдамдығы.

Эрмит сплайнның құратын функциялар сплайнды түйіндердегі мәндер бойынша құрады[1-3]. Біз Матлаб ортасында жалпыланған координаталар интерполяциялық функцияға, ал функцияның бірінші туындыларының мәндері жылдамдық мәніне теңестірілетіндей скрипт құрдық.

Төртінші ретті полиномға екінші туындылар үздіксіздік шарты қанағаттандырылатындай коэффициенттерін табамыз. Бастапқы коэффициенттерді келесідей есептейміз:

$$f(1,3) = (3/t(1)) * ((2 * (G(1) - G(2)) / t(1)) + p(1) + p(2));$$

$$f(1,4) = (1/(t(1))^2) * ((8 * (G(2) - G(1)) / t(1)) - (3 * p(2) + 5 * p(1)));$$

$$f(1,5) = (1/(t(1))^3) * ((3 * (G(1) - G(2)) / t(1)) + t(2) + 2 * t(1)).$$

Полиномның басқа коэффициенттерін келесідей есептейміз:

$$f(1,3) = f(1-1,3) + (3 * (p(1+1) - p(1)) / t(1)) + 6 * (G(1) - l(1+1)) / (t(1))^2;$$

$$f(1,4) = -(2 * f(1-1,3) / t(1)) + (5 * (p(1+1) - p(1)) / (t(i))^2) - 8 * (p(1+1) * t(1) + G(1) - G(1+1)) / (t(1))^3;$$

$$f(1,5) = (f(1-1,3) / (t(1))^2) - (2 * (p(1+1) - v(1)) / (t(1))^3) + 3 * (p(1+1) * t(1) + G(1) - G(1+1)) / (t(1))^4;$$

$$f(1,1) = G(1+1); f(1,2) = p(1+1).$$

Matlab-тағы төртінші Эрмит сплайнның mkrp-көрсетілімі келесідей болады:

$$\text{function } r = \text{spline4}(s, O, g);$$

$$d = \text{length}(s);$$

$$c = \text{zeros}(d-1, 5); m(1) = s(2) - s(1);$$

$$c(1,3) = (3/m(1)) * ((2 * (O(1) - O(2)) / m(1)) + g(1) + g(2));$$

$$c(1,4) = (1/(m(1))^2) * ((8 * (O(2) - O(1)) / m(1)) - (3 * g(2) + 5 * g(1)));$$

```

c(1,5)=(1/(m(1))^3)*((3*(O(1)-O(2))/m(1))+g(2)+2*g(1));
for i=2:d-1
m(u) =s(u+1)-s(u);
c(u,3)=c(u-1,3)+(3*(g(u+1)-g(u))/m(u))+6*(O(u)-O(u+1))/(m(u))^2;
c(u,4)=-(2*c(u-1,3)/m(u))+5*(g(u+1)-g(u))/(m(u))^2)-
8*(g(u+1)*m(u)+O(u)-O(u+1))/(m(u))^3;
c(u,5)=(c(u-1,3)/(m(u))^2)-(2*(g(u+1)-
g(u))/(m(u))^3)+3*(g(u+1)*m(u)+O(u)-O(u+1))/(m(u))^4;
c(u,1)=O(u+1); c(u,2)=g(u+1);
c(u,5)=c(u,5)/(s(u+1)-s(u))^4;
c(u,4)=c(u,4)/(s(u+1)-s(u))^3;
c(u,3)=c(u,3)/(s(u+1)-s(u))^2;
c(u,2)=-c(u,2)/(s(u+1)-s(u))^1;
c(u,1)=c(u,1);
end;
p=mkpp(s,c);

```

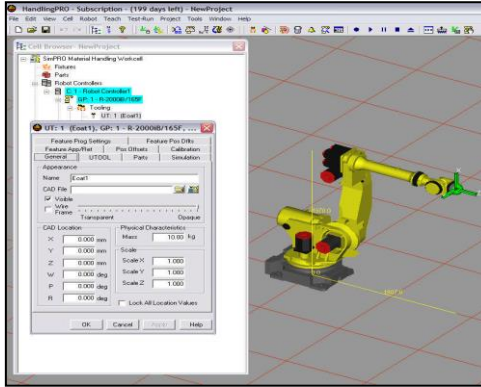
Әрбір координата, уақыт, жылдамдық мәнін қойып имплант формасына сплайнды құрамыз. Осы модельден аралық координаталардың мәнін есептеп алуға болады. Basic Fitting құралы көмегімен әрбір модель үшін жуықтау қателіктерін есептеледі. Аралық координаталардың мәні Roboguide V 9.40 бағдарламасына жіберіледі[5-8].

Таңдалған траектория бойынша робот қозғалысын құру үшін келесі этаптардан өту керек:

- Робот моделін таңдау
- Робот параметрлерін орнату
- Детальді импорттау
- Деталь қасиеттерін баптау
- Қозғалыс позицияларын беру
- Қозғалыс программасын генерациялау

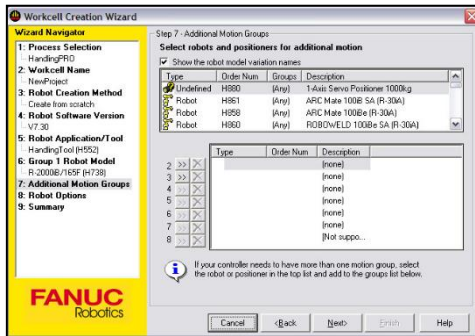
1-этап. Робот моделін таңдау

FANUC ROBOGUIDE V 9.40 программасында Fanuc LR Mate 200 id роботын таңдаймыз (1-сур).



1-сурет – Роботты тандау

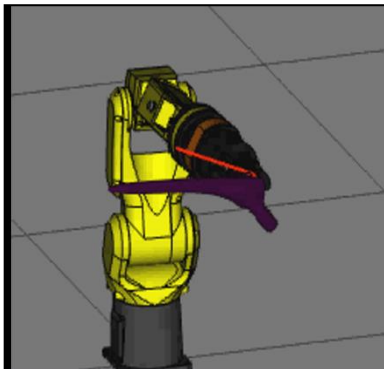
2-этап. Робот параметрлерін баптау (2-сур)



2-сурет – Параметрлерді баптау

3-этап. Детальді импорттау

\*.igs форматындағы имплант моделін Geomagic Design X программасынан импорттаймыз (3-сур).



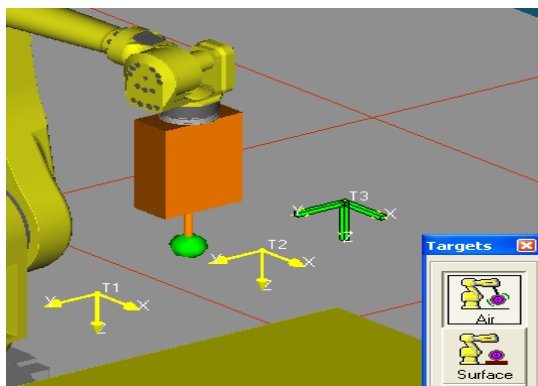
3-сурет- Импланттың 3d моделін импорттау

4-этап. Деталь қасиеттерін баптау

Бұл этапта осьтер қасиеттері бапталады, деталь өлшемдері орнатылады.

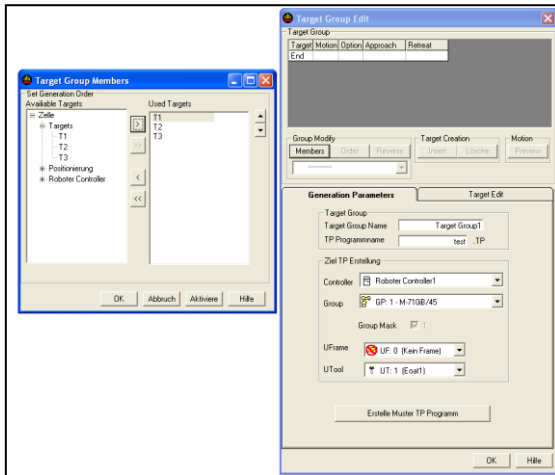
5-этап. Қозғалыс позицияларын беру

«Определение положения» опциясын қолданып робот қозғалысы орнатылады (4-сур).



4-сурет- Робот позициясын орнату

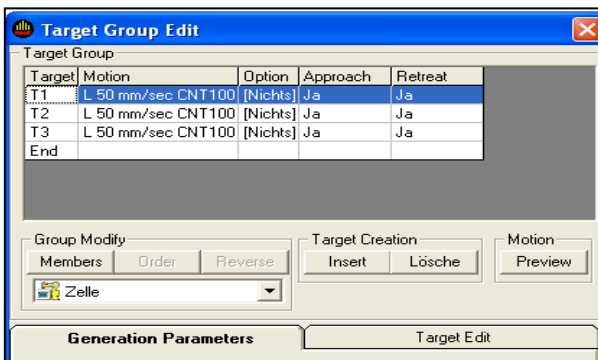
Берілген координаталар және жылдамдық мәндері бойынша құрылған мақсат нүктелері мақсат топтарына біріктіріледі (5-сур).



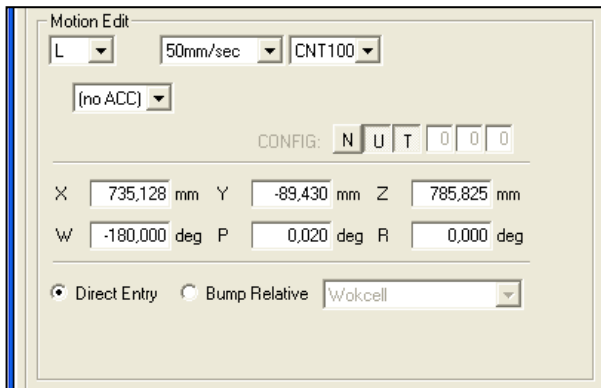
5-сурет – Мақсаттар тобын құру

6-этап. Қозғалыс программасын генерациялау

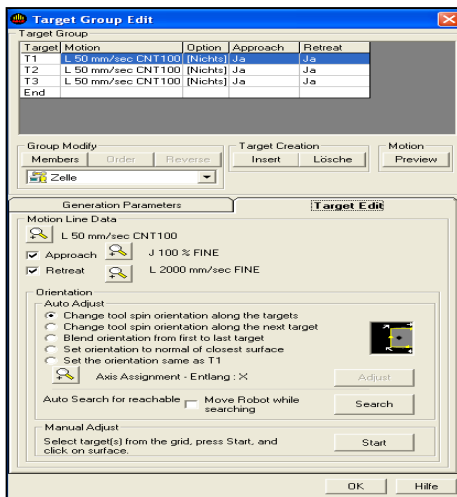
Мақсаттар тобы бойынша қозғалыс программасының симуляциясы құралады (6,7,8-сур).



6-сурет- Позиция қасиеттерін баптау



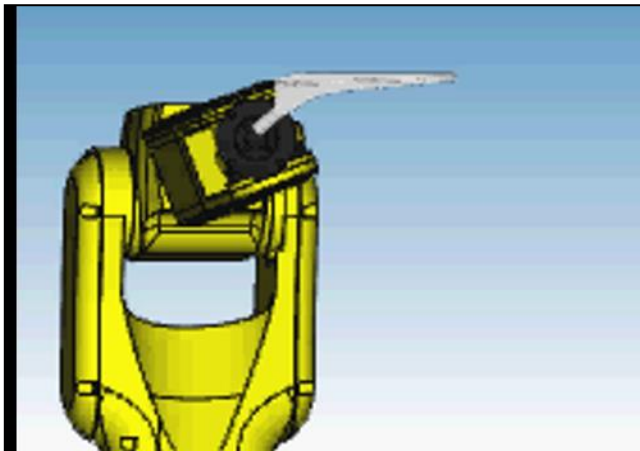
7-сурет- Қозғалыс қасиеттерін баптау



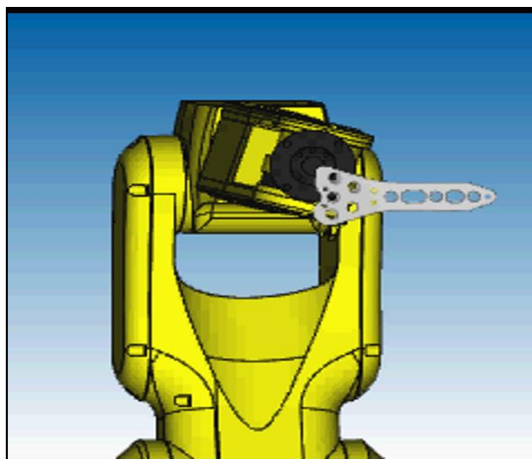
8-сурет- TP-программа қасиеттерін баптау

TP-программаның барлық қасиеттері орнатылғаннан кейін белгіленген позициялар бойынша әртүрлі импланттарға робот қозғалысы генерацияланады (9,10,11,12,13,14-сур)[9-12].

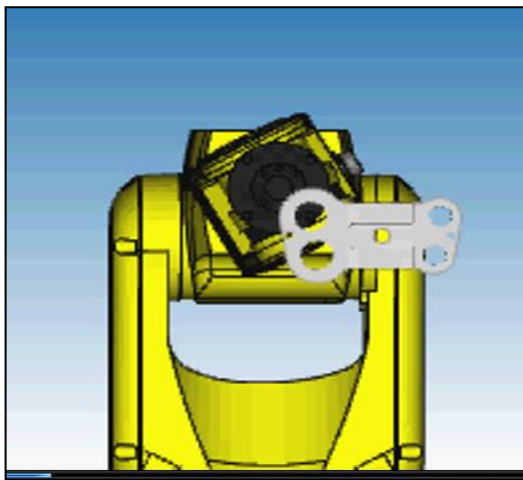




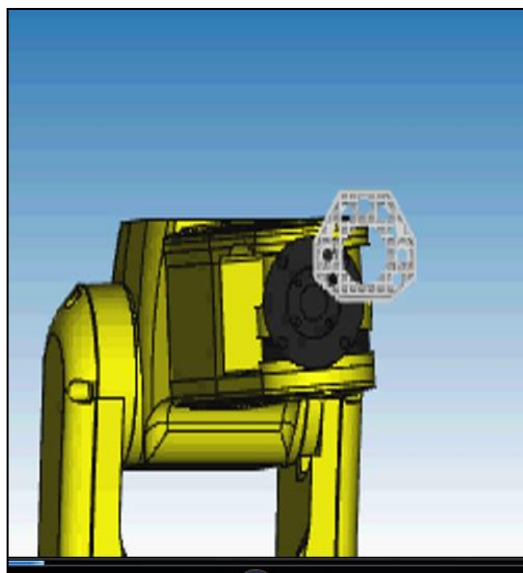
9-сурет – Жамбас буыны имплантының құраушысын бүркеу үшін TP-программаны генерациялау



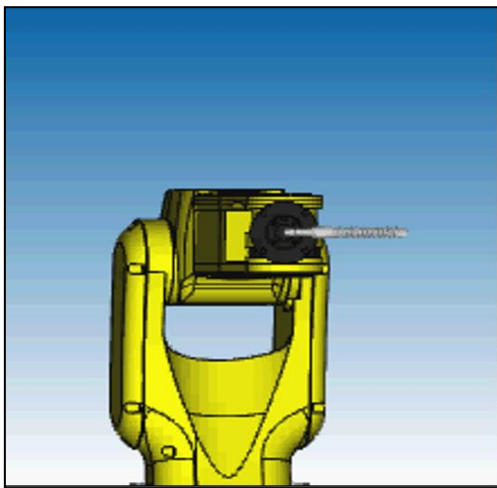
10-сурет – Жіліншек имплантының құраушысын бүркеу үшін TP-программаны генерациялау



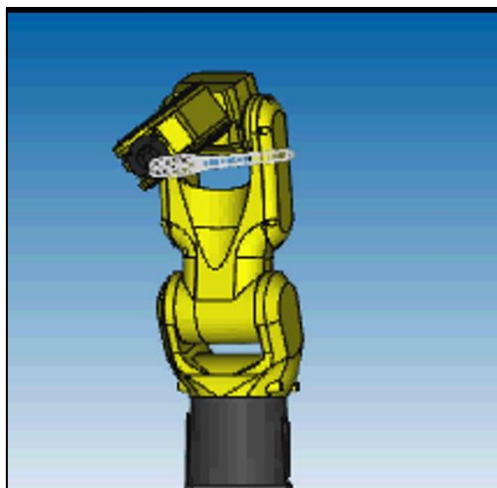
11-сурет – Омыртқа имплантының құраушысын бұркеу үшін TP-программаны генерациялау



12-сурет – Мойын имплантының құраушысын бұркеу үшін TP-программаны генерациялау



13-сурет - Саусақ буыны имплантының құраушысын бүркеу үшін TP-программаны генерациялау



14-сурет - Иық буыны имплантының құраушысын бүркеу үшін TP-программаны генерациялау

Талқылау

Механикалық қозғалыстарды сплайндар көмегімен модельдеу алдында ұсынылған. Әрбір координата, уақыт, жылдамдық мәнін қойып имплант формасына төртінші дәрежелі сплайн құрылды. Осы модельден аралық координаталардың мәнін есептеп алуға болады. Аралық координаталардың мәні Roboguide V 9.40 бағдарламасына жіберіледі. Осы бағдарламада 6 түрлі имплантқа бұркеу процесін робот көмегімен модельдеу жасалды.

### **Қорытынды**

Медицинада импланттарды қолдану кеңінен тарауда. Импланттарды өндіру мәселесі маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Импланттардың ағзаға жақсы бекінуі үшін олардың бұркеу сапасы жоғару болу керек. Импланттарды робот көмегімен бұркеу өте ыңғайлы және оңтайлы шешімдердің бірі болып табылады. Бұркеу траекториясын модельдеу процесі сипатталды. Әрбір координата, уақыт, жылдамдық мәнін қойып имплант формасына төртінші дәрежелі сплайнды құрамыз. Осы модельден аралық координаталардың мәнін есептеп алуға болады. Basic Fitting құралы көмегімен әрбір модель үшін жуықтау қателіктерін есептеледі. Аралық координаталардың мәні Roboguide V 9.40 бағдарламасына жіберіледі. Осы бағдарламада 6 түрлі имплантқа бұркеу процесін робот көмегімен модельдеу жасалды.

### **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **Завьялов, У. С., Квасов, Б. И., Мирошниченко, В. Л.** Методы сплайн- функций. М., Наука, 1980.

2 **Кириченко, Н. Ф., Сорока, Р. А., Крак, Ю. В.** «Манипуляционные роботы. Алгоритмическое и программное обеспечение средств управления движением», учебное пособие, Киев КГУ, 1987.

3.Интерполяция. 20.08.2020. URL: – <https://refdb.ru/look/1629442-pall.html>

4 **Золотых, Н. Ю.** Matlab в научных исследованиях. Нижегородск, 2004

5 Методы интерполяции в Матлаб. 15.05.2020. URL: <http://geum.ru/next/art-295114.php>

6 **Karymsakova, I. B., Krak, Yu. V., Denisova, N. F.** Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44–52.

7 **Karymsakova, I. B., Denisova, N. F., Kumargazhanova, S. K., Krak Ju. V.** Robotic plasma spraying system for implants of complex structure: methods and solutions, International Journal of Computing, 19(2) 2020, 1-2

8 **Карымсакова, И. Б., Денисова, Н. Ф., Крак, Ю. В.** Усовершенствование методов построения систем создания имплантов с использованием современных производственных решений // Международная научная конференция «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI'2017)». 22–26 мая 2017. Материалы международной научной конференции. – Зализный порт. Украина. Херсон: Издательство ПП Вишемирський В.С., 2017. – С. 69-70.

9 **Karymsakova, I. B., Krak, Yu. V., Denisova, N. F.** Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44–52.

10. Решение математических задач в системе компьютерной математики в пакете Matlab. 04.11.2022. URL: <https://sites.google.com/site/vpaketematlab/3-realizacia-cislennyh-metodov/03-3-realizacia-splajnov-v-matlab>.

11 Слайны. 04.11.2022

[URL:https://ozlib.com/823878/informatika/splavny](https://ozlib.com/823878/informatika/splavny).

12 Эрмитова многоинтервальная интерполяция MatLab. 04.11.2022. URL: <https://radiomaster.ru/cad/matlab/glava17/index36.php>.

## REFERENCES

1 **Zav'jalov, U. S., Kvasov, B. I., Miroshnichenko, V. L.** Metody splajn-funkcij [Methods of spline functions] Moscow., Nauka, 1980.

2 **Kirichenko, N. F., Soroka, R. A., Krak Ju. V.** Manipuljacionnye roboty. Algoritmicheskoe i programmnoe obespechenie sredstv upravlenija

dvizheniem [Manipulative robots. Algorithmic and software of motion controls] учебное пособие, Kiev KGU, 1987.

3 Interpoljacija [Interpolation] 20.08.2020. URL: <https://refdb.ru/look/1629442-pall.html>.

4 **Zolotyh, N. Ju.** Matlab v nauchnyh issledovaniyah [Matlab in scientific research] Nizhegorodsk, 2004.

5 Metody interpoljicii v Matlab [Interpolation methods in Matlab] 15.05.2020. URL: <http://geum.ru/next/art-295114.php>.

6 **Karymsakova, I. B., Krak, Yu. V., Denissova, N. F.** Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex [Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex] Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P. 44–52.

7 **Karymsakova, I. B., Denissova, N. F., Kumargazhanova, S. K., Krak, Ju. V.** Robotic plasma spraying system for implants of complex structure: methods and solutions [V. Robotic plasma spraying system for implants of complex structure: methods and solutions] International Journal of Computing, 19(2) 2020, 1-2.

8 **Karymsakova I. B., Denissova N. F., Krak Ju. V.** Usovershenstvovanie metodov postroeniya sistem sozdaniya implantov s ispol'zovaniem sovremennyh proizvodstvennyh reshenij [Improvement of methods for building implant creation systems using modern manufacturing solutions] Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Intellektual'nye sistemy prinjatija reshenij i problemy vychislitel'nogo intellekta (ISDMCI'2017)». 22–26 maja 2017. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Zaliznyj port. Ukraina. Herson: Izdatel'stvo PP Vishemir'skij V.S., 2017. – P. 69–70.

9 **Karymsakova I. B., Krak, Yu. V., Denissova, N. F.** Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex [Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex] Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44–52.

10 Reshenie matematicheskikh zadach v sisteme komp'yuternoj matematiki v pakete Matlab [Solving mathematical problems in a computer mathematics system in the Matlab package]. 04.11.2022. . URL:

<https://sites.google.com/site/vpaketematlab/3-realizacia-cislennyh-metodov/03-3-realizacia-splajnov-v-matlab>.

11 Splajny[Splines]. 04.11.2022. URL:

<https://ozlib.com/823878/informatika/splajnyv>.

12 Jermitovaja mnogointerval'naja interpoljacija MatLab [Hermitian multiinterval interpolation of MatLab]. 04.11.2022. URL: <https://radiomaster.ru/cad/matlab/glava17/index36.php>.

*И. Б. Карымсакова*<sup>1</sup>, *Б. Д. Бекенова*<sup>2</sup>, *\*Е. А. Оспанов*<sup>1</sup>,  
*Н. К. Курмангалиева*<sup>3</sup>, *А. К. Калиева*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shakarim University, Республика Казахстан, Семей

<sup>2</sup>Turan-Astana University, Республика Казахстан, Астана

<sup>3</sup>Alikhan Bokeikhan University, Республика Казахстан, Семей

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИМПЛАНТОВ РОБОТОМ FANUC LR MATE 200ID В ПРОГРАММЕ**

*В статье поставлена цель описать моделирование микроплазменного напыления поверхности титановых имплантатов манипуляционным роботом Fanuc LR Mate 200id с использованием симулятора Roboguide V 9.40. Результаты этих исследований направлены на практическое применение методов дальнейшего построения траектории движения манипуляционного робота при микроплазменном напылении титановых имплантатов. Предложенный подход с использованием интерполяционного полинома Эрмита четвертого порядка позволяет построить траекторию движения с учетом скорости движения робота по определенным точкам. Для построения оптимальной траектории движения робота необходимо выполнение условий непрерывности второй производной. Это связано с динамическими характеристиками движения манипуляционных роботов. Для обеспечения этих условий необходимо повысить порядок сплайна до четвертого. Был построен сплайн Эрмита четвертого порядка,*

*коэффициента сплайна были рассчитаны методом прогонки. В среде матлаб был написан скрипт, позволяющий построить интерполяционный сплайн Эрмита четвертого порядка с заданными координатами и скоростями. Из построенной модели четвертой степени полинома Эрмита были рассчитаны промежуточные координаты движения, а в виртуальном симуляторе Roboguide V.9.40 было смоделировано движение робота для составляющих 6 видов имплантов: имплант тазобедренного сустава, имплант голени, позвоночный имплант, имплант суставов пальцев, имплант плечевого сустава, шейный имплант.*

*Ключевые слова. Полином Эрмита, программная траектория, интерполяция, построение траектории, робот, TP-программа.*

*I. Karymsakova<sup>1</sup>, D. Bekenova<sup>2</sup>, \*Y. Ospanov<sup>3</sup>,  
N. Kurmangaliyeva<sup>3</sup>, A. Kaliyeva<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey

<sup>2</sup>Turan-Astana University, Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>3</sup>Alikhan Bokeikhan University, Republic of Kazakhstan, Semey

## **MODELING OF MICROPLASMA SPUTTERING OF THE IMPLANT SURFACE BY THE FANUC LR MATE 200ID ROBOT IN THE PROGRAM**

*The article aims to describe the modeling of microplasma spraying of the surface of titanium implants using a Fanuc LR Mate 200id manipulation robot using the Roboguide V 9.40 simulator. The results of these studies are aimed at the practical application of methods for further constructing the trajectory of movement of a manipulation robot during microplasma spraying of titanium implants. The proposed approach using a fourth-order Hermite interpolation polynomial makes it possible to construct a motion trajectory taking into account the speed of the robot at certain points. To construct the optimal trajectory of the robot, it is necessary to satisfy the conditions of continuity of the second derivative. This is due to the dynamic characteristics of the movement of*



*manipulation robots. To ensure these conditions, it is necessary to increase the order of the spline to the fourth. A fourth-order Hermite spline was constructed, and the spline coefficients were calculated by the sweep method. A script was written in the Matlab environment that allows one to construct a fourth-order Hermite interpolation spline with given coordinates and velocities. From the constructed model of the fourth degree of the Hermite polynomial, intermediate coordinates of movement were calculated, and in the virtual simulator Roboguide V.9.40 the movement of the robot was simulated for the components of 6 types of implants: hip joint implant, shin implant, spinal implant, finger joint implant, shoulder joint implant, cervical implant.*

*Keywords. Hermite polynomial, software trajectory, interpolation, trajectory construction, robot, TR program.*

МРНТИ 44.29.33

<https://doi.org/10.48081/DLNT8326>**\*А. А. Куршенман, В. В. Каверин**

*Қарағандық техникалық университет иемні Абылқаса Сағинова,  
Республика Қазақстан, г. Қарағанда*

*\*e-mail: [sashakirshenman@gmail.com](mailto:sashakirshenman@gmail.com)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ КОРОНЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

*В данной статье представлены результаты исследований и вариант технической реализации источника электропитания, электронных блоков системы диагностики элементов конструкции высоковольтных воздушных линий электропередач (ВЛ), конструктивно расположенных в верхней части опор ВЛ, который разработан в рамках магистерской диссертации «Разработка автономного источника электрического питания для информационных систем». Разработаны требования, предъявляемые к автономным источникам электрического питания, с учетом особенностей элементов конструкций ВЛ и требований нормативов безопасности. Проведен анализ существующих конструкций активных элементов первичного преобразователя энергии короны ВЛ и принято за основу техническое решение, с учётом требований и норм техники безопасности и конструкции опор. Разработана схема замещения первичного преобразователя блока электропитания. Первичный преобразователь энергии электромагнитного поля короны выполнен с использованием емкостной связи индуктивного резонатора и токоведущих проводов ВЛ. Выполнен анализ актуальных теоретических исследований спектральных характеристик коронного разряда. Разработана функциональная схема аппаратной части блока питания и принципиальная схема*

*автономного источника электропитания. Предложенное техническое решение представляет собой научный интерес и подразумевает дальнейшее проведение исследований и разработку технических решений.*

*Ключевые слова: автономный источник электропитания, электро-магнитный резонанс, четвертьволновой резонатор, электромагнитное поле, линия электропередач.*

## **Введение**

Системы передачи электроэнергии обеспечивают социальную, техническую, энергетическую и экономическую стабильность государства. Контроль и мониторинг состояния опор высоковольтных линий электропередачи (ВЛ), с целью оценки их состояния и предотвращения аварийных ситуаций, традиционно осуществлялся обслуживающими организациями путем периодического осмотра оборудования опор, что при большой протяжённости высоковольтных сетей, исчисляемых многими сотнями опор, распределенных на огромных пространствах, не мог быть эффективным и это приводило к обрыву проводов и падению опор. Последствия от подобных событий всегда сопровождалась большими социальными, техническими и экономическими потерями [1].

Одним из путей повышения надёжности и снижения аварийности является внедрение автоматизированной системы диагностики элементов конструкции ВЛ. Важной наукоёмкой технической задачей, обеспечивающей эффективность работы системы диагностики, является разработка автономных источников электропитания малой мощности для питания электронных блоков системы диагностики, конструктивно расположенных в верхней части опоры ВЛ [2].

С целью повышения надёжности системы электроснабжения в НАО КарТУ им. А. Сагинова на кафедре АПП им. В.Ф. Бырьки осуществляется разработка системы диагностики и контроля состояния элементов конструкции ВЛ. Система состоит из локальных блоков, расположенных в верхней части опоры и компьютерного оборудования, расположенного на подстанции. Одной из проблем надёжной работы оборудования, расположенного на опоре, является бесперебойное снабжение электроэнергией локальных блоков.

В связи с этим, актуальной задачей является исследование и разработка автономного источника электропитания.

### **Материалы и методы**

Для проведения теоретических исследований и разработки технических решений в работе использованы: методы конструирования электронной аппаратуры; результаты анализа существующих патентов; результаты теоретических исследований, представленных в научных статьях ближнего и дальнего зарубежья; проведен анализ энергетических и частотных характеристик электромагнитного поля токоведущих проводов ВЛ, образующегося в результате появления короны вокруг токоведущего провода; результаты анализа существующих технических реализаций автономных блоков электропитания; материалы анализа законодательных и нормативных документов для проведения практических исследований с учетом техники безопасности; моделирование автономного источника электропитания.

В настоящее время диагностика технического состояния элементов конструкций ВЛ, выполняется в основном посредством визуального осмотра элементов конструкций ВЛ специалистами обслуживающих организаций. Увеличение надежности всей системы электроснабжения связано с применением комбинированных методов, основанных на использовании, автоматизированных систем диагностики и выезда на диагностируемый участок ВЛ специалистов для выявления дефектов элементов ВЛ. Однако, в настоящее время отсутствуют серийно выпускаемые автоматизированные комплексы диагностики элементов конструкций ВЛ [3].

Предлагаемая система диагностики высоковольтных линий электропередач, позволяет получать данные дистанционно. Система включает в себя локальные блоки сбора информации, установленные в верхней части опор ВЛ, и компьютерное оборудование, размещенное в административных зданиях подстанций. Одной из основных задач, связанных с обеспечением надежной работы оборудования, размещенного на опорах, является бесперебойное электропитание электронных блоков, расположенных в верхней части опор ВЛ. Предполагаемая мощность, потребляемая блоками системы диагностики, не превышает 50 Вт. Система диагностики потребляет энергию в цикличном режиме, интервал времени

потребления энергии – 30 секунд, интервал времени без потребления энергии – 30 минут.

В ходе рассмотрения существующих автономных источников электроэнергии для элементов локальных информационных систем, были рассмотрены наиболее распространенные варианты питания, обладающие рядом недостатков, для солнечных панелей – зависимость от продолжительности периодов солнечных дней, загрязнение поверхности солнечной панели от внешних факторов; для ветрогенераторов – зависимость генерируемой мощности от скорости ветра; для источников использующих гальванические элементы – уменьшение емкости в связи с перепадами температур, необходимость периодичной замены; для питания посредством маломощных понижающих трансформаторов, с питанием от токоведущих ВЛ до 110 кВ – отсутствие серийно выпускаемых моделей для ВЛ 500 кВ.

Главная особенность изобретения [4] заключается в особой конструкции. Устройство трансформатора тока обладает практически идеально круглой формой шара и может быть смонтирован непосредственно на токоведущих проводах.

Принцип работы предлагаемого устройства основан на трансформации энергии электрического тока токоведущего провода ВЛ во вторичную обмотку трансформатора тока. Недостатком данного устройства является большое влияние короны токоведущих проводов на надёжность работы электронных блоков нагрузки предлагаемого источника электропитания. Учитывая особенности систем диагностики, необходим источник питания на каждой опоре ВЛ, конструктивно расположенного на расстоянии от токоведущих проводов, величина которого регламентирована нормативами техники безопасности.

Авторы патентов [5; 6; 7] Ichikawa S, и Kitamura H., Kada K., разработали устройство бесконтактного приема энергии с катушкой приема энергии, сконфигурированной для приема электроэнергии, передаваемой от катушки источника питания на транспортное средство с помощью электромагнитного резонанса.

Преимущество изобретения. В соответствии с конструкцией изобретения устраняется необходимость в датчике расстояния между

блоками приема и передачи энергии. Использование явления электромагнитного резонанса увеличивает дальность передачи энергии.

Принцип приема энергии бесконтактным способом, рассмотренный в [5; 6; 7] является перспективным, но малоизучен, и может быть использован в качестве способа электропитания для систем диагностики элементов конструкций ВЛ.

В работе в качестве энергоносителя предполагается использовать энергию коронирования токоведущих проводов ВЛ, под напряжением 500 кВ. Данный метод перспективен тем, что энергия присутствует круглосуточно, не зависит от климатических условий. Продолжительных возмущающих факторов в данном источнике электроэнергии не предвидится. Электромагнитное излучение короны, образующееся вокруг токоведущих проводов с напряжением 500 кВ, достигает мощности 3 Вт на каждый метр провода.

Коронный разряд представляет собой, распределенный по длине токоведущего провода ВЛ, электродуговой разряд в атмосфере. Электродуговые разряды короны возникают с высокой частотой и формируют вокруг токоведущих проводов облако холодной плазмы. Таким образом, наличие короны вокруг токоведущего провода приводит к возникновению высокочастотного электромагнитного поля, на спектральные характеристики которого, существенное влияние оказывают индуктивные и емкостные характеристики токоведущего провода.

В ходе проведения исследования, проводимого испанскими учеными [8], было получено значение частоты, соответствующее максимальной амплитуде энергетической характеристики разряда. В результате получены спектральные характеристики коронного разряда. Максимальное значение магнитуды коронного разряда приходится на частоту:  $f_{\max}=30$  МГц.

В качестве основы для передачи энергии принято использовать конструкцию четвертьволнового резонатора, который обладает значительными преимуществами по сравнению с другими типами резонаторов, среди которых можно выделить максимально высокий КПД преобразования электрической энергии с последующей передачей в нагрузку, компактность и легкость, низкая стоимость.

Для исследования параметров электромагнитного поля, создаваемого энергией коронирования токоведущих проводов ВЛ выбран участок

анкерного пролета ВЛ Эк-ГРЭС-ПС Нура, напряжением 500 кВ. Для линии 500 кВ принято фазный провод расщеплять на 3 составляющих с шагом 400 мм. В результате, получаем 3 провода марки АС-300/39 с диаметром 25 мм.

### **Результаты и обсуждение**

В ходе проведенного анализа источников электрического питания, электронных блоков, предназначенных для диагностики ВЛ, расположенного в верхней части опоры, были разработаны требования к конструкции преобразователя энергии электромагнитного поля короны токоведущих проводов в электрическую энергию с учетом энергетических характеристик системы диагностики:

1 основными узлами в блоке питания являются – первичный преобразователь энергии короны токоведущих проводов с трансформаторной развязкой выходных цепей блока электропитания, выпрямитель, сглаживающий фильтр и стабилизатор выходного напряжения;

2 первичный преобразователь состоит из приемного устройства емкостного типа и четвертьволнового индуктивного резонатора. Выпрямитель построен по двухполупериодной схеме. В качестве сглаживающего фильтра используется конденсатор. Для стабилизации выходного напряжения блока питания используется импульсный стабилизатор;

3 частотные характеристики индуктивного резонатора должны соответствовать максимальному подъему спектральной характеристики электромагнитного поля короны.

В основу расчета емкостной составляющей между проводами и землей, взят метод зеркальных отображений, используемый в исследовании [9] в итоге вычислено значение емкости относительно земли. В результате проведенных вычислений, при протяженности линии от подстанции до подстанции  $l=246$  км, емкость провода относительно земли равна  $C_{зп}=2,7$  мкФ.

Учитывая полученные значения, разработана схема замещения, (Рисунок 1), где приняты следующие обозначения: А, В, С – фазы линии электропередач, ПУ – приемное устройство (четвертьволновой резонатор), НЭ – накопитель энергии

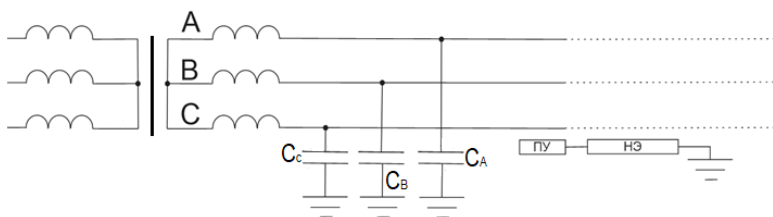


Рисунок 1 – Схема замещения для разработки устройства преобразования энергии

Согласно полученным данным [10], напряженности магнитного и электрического полей будут максимальны к концу согласующей катушки, с учетом полученных данных, конструкция и принципиальная схема согласующего устройства представлена на рисунке 2 а, б соответственно, где принято что  $Лн.р.$  – индуктивный резонатор,  $Лн.$  – индуктор.

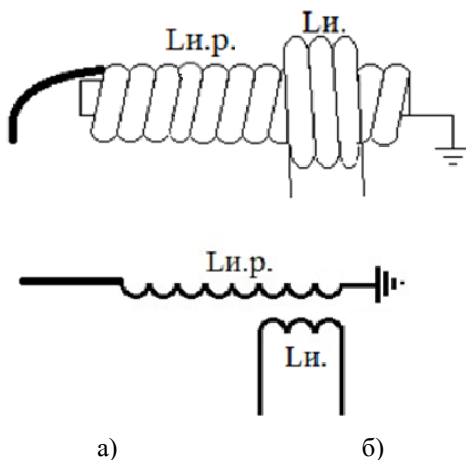


Рисунок 2 – Конструкция и принципиальная схема согласующего устройства

В результате проведенного анализа существующих решений, была разработана принципиальная схема устройства для преобразования энергии электромагнитного излучения короны, представленного на



рисунке 3, где приняты следующие обозначения: 1 – токоведущий провод ВЛ; 2 – облако короны; C1, C2 – подстроечные конденсаторы; C3, C4 – электрические ёмкости между короной и первичным преобразователем; L1, L3 – первичные обмотки трансформаторов; L2, L4 – вторичные обмотки трансформаторов; VD1-VD4 и VD5-VD8 – двухполупериодные выпрямители; C5, C6 – емкостные фильтры; R1, R2 – нагрузка преобразователя.

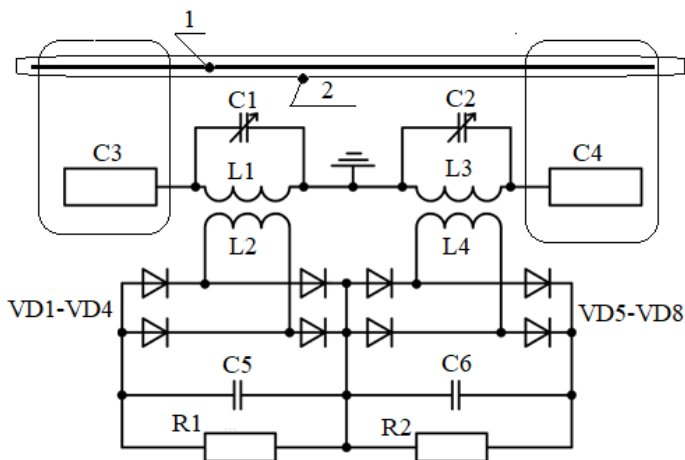


Рисунок 3 – Принципиальная схема автономного источника электрического питания для локальных систем сбора, обработки и передачи информации с опор высоковольтных ВЛ

Предлагаемое устройство работает следующим образом:

1) посредством емкостной связи между обкладками конденсаторов приёмного устройств C3 и C4 и облаком короны 2, образуемой напряжением токоведущего провода 1 ВЛ, на обкладках конденсаторов C3 и C4 формируется ЭДС. Обкладки конденсаторов C3 и C4, имея электрическую связь с первичными обмотками L1 и L3 обеспечивают протекания через них тока. Конструктивной особенностью обмоток однослойных катушек является то что они выполнены по схеме индуктивного резонатора, настроенного на четверть волновой резонанс с учётом частоты максимальной амплитуды спектральной характеристики

короны токоведущего провода. Данное конструктивное решение позволит использовать повышенную напряжённость магнитной составляющей поля катушек L1 и L3 возле их заземлённого конца. Конструктивное расположение обмоток L2 и L4 в области максимальной напряжённости магнитной составляющей поля катушек L1 и L3 в итоге позволит повысить КПД всего преобразователя.

2) изменяя ёмкость подстроечных конденсаторов C1 и C2 можно точно настроить резонансные контуры C1, L1 и C2, L3 на частоту максимальной амплитуды спектральной характеристики короны. Напряжение с обмоток L2 и L4 подаётся на двухполупериодные выпрямители VD1-VD4 и VD5-VD8, где преобразуется в постоянное напряжение. Сглаживание пульсаций постоянного напряжения с выхода выпрямителей VD1-VD4 и VD5-VD8 осуществляется емкостными фильтрами C5 и C6. Далее постоянное напряжение поступает на нагрузку R1 и R2.

### **Выводы**

Таким образом, в результате выполнения работы разработана схема замещения источника питания и приемного устройства. Разработана и описана принципиальная схема устройства преобразования энергии, в соответствии с требованиями, предъявляемыми к автономным источникам питания, расположенным в верхней части опор ВЛ. Вычислено значение частоты электромагнитного поля короны, соответствующее амплитудному - 30 МГц. Электромагнитное излучение короны достигает мощности 3 Вт на погонный метр провода. Определен алгоритм вычисления емкости между фазным проводом и землей.

Практическая значимость данного исследования подтверждается полученным патентом на полезную модель №8544 «Автономный источник электропитания малой мощности».

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Закон Республики Казахстан от 9 июля 2004 года № 588 «Об электроэнергетике» с дополнениями по состоянию на 2024 г. [Электронный ресурс]. - <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z040000588>. (Дата обращения: 04.03.2024).

2 **Утеулиев, Б. А., Тарасов, А. Г.** Ресурс опор воздушных линий электропередачи [Текст] // Научный вестник НГТУ. – 2015. – № 2(59). – С. 89–97.

3 **Хальясмаа, А. И., Близнюк, Д. И., Романов, А. М.** Диагностический комплекс для оценки состояния воздушных линий электропередачи [Текст] // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2015. – № 4. – С. 46–53.

4 **Banting, J., McBee, B.W.** Power Line Energy Harvesting Power Supply [Текст] // Патент США № US20100084920A1 : заявл.29.09.2009 : опубл. 04.08.2010 – 6 с.

5 **Ichikawa, S.** Power supply system and vehicle including the same [Текст] // Патент США № US7956489B2 : заявл. 16.02.2007 : опубл. 12.03.2009 – 6 с.

6 **Ichikawa, S.** Wireless power feeding apparatus, vehicle, and method of controlling wireless power feeding system [Текст] // Патент США № US7956489B2 : заявл. 12.01.2010 : опубл. 12.09.2013 – 7 с.

7 **Kitamura, H., Kada, K.** Contactless power transmission circuit [Текст] // Патент США № US8319376B2 : заявл. 08.12.2009 : опубл. 07.08.2010 – 9 с.

8 **Santos, L. E. M., y Miranda, R. L., Espino-Cortés, F. P.** Electromagnetic spectrum of the corona discharge and their fundamental frequency [Текст] – London, UK : IntechOpen, 2021. – С. 1–16.

9 **Бирюлин, В. И., Куделина, Д. В., Горлов, А. Н.** Определение напряженности электрического поля высоковольтных воздушных линий при коронном разряде [Текст] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – №. 4(48). – С. 85–93.

10 **Пучков, В. П., Эварт, Т. Е., Прис, Н. М.** Математическое моделирование распределения электрического поля в канале электромагнитного расходомера [Текст] // Вестник МГТУ «Станкин». – 2013. – № 4. – С. 81–85.

11 **Киршенман, А.А., Каверин, В. В.** Автономный источник питания малой мощности [Текст] // Патент РК №8544; Полезная модель; опубл. 20.10.2023, бюллетень №42 – 6 с.

## REFERENCES

1 Zakon Respubliki Kazahstan ot 9 iyulya 2004 goda № 588 «Ob elektroenergetike» s dopolneniyami po sostoyaniyu na 2024 g. [Law of the Republic of Kazakhstan dated July 9, 2004 No. 588 «On Electric Power Industry» with amendments as of 2024.] [Electronic resource]. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z040000588> (Date conversion: 04.03.2024).

2 **Uteuliev, B. A., Tarasov, A. G.** Resursy opor vozduzhnykh liniy elektroperedachi [The resource of overhead transmission line supports] [Text] // Nauchnyj vestnik NGTU. – 2015. – № 2(59). – P. 89–97.

3 **Halyasmaa, A. I., Bliznyuk, D. I., Romanov, A. M.** Diagnosticheskiy kompleks dlya ocenki sostoyaniya vozduzhnykh liniy elektroperedachi [Diagnostic complex for assessing the condition of overhead power lines] [Text] // Vestnik YuUrGU. Seriya: Energetika. – 2015. – № 4. – P. 46–53.

4 **Banting, J., McBee, B. W.** Power Line Energy Harvesting Power Supply [Text] // Patent of USA № US20100084920A1 : zayavl.29.09.2009 : opubl. 04.08.2010 – 6 p.

5 **Ichikawa, S.** Power supply system and vehicle including the same [Text] // Patent of USA № US7956489B2 : zayavl. 16.02.2007 : opubl. 12.03.2009 – 6 p.

6 **Ichikawa, S.** Wireless power feeding apparatus, vehicle, and method of controlling wireless power feeding system [Text] // Patent of USA № US7956489B2 : zayavl. 12.01.2010 : opubl. 12.09.2013 – 7 p.

7 **Kitamura, H., Kada, K.** Contactless power transmission circuit [Text] // Patent of USA № US8319376B2 : zayavl. 08.12.2009 : opubl. 07.08.2010 – 9 p.

8 **Santos, L. E. M., y Miranda, R. L., Espino-Cortés, F. P.** Electromagnetic spectrum of the corona discharge and their fundamental frequency [Text] – London, UK : IntechOpen, 2021. – P. 1–16.

9 **Biryulin, V. I., Kudelina, D. V., Gorlov, A. N.** Opredelenie napryazhennosti elektricheskogo polya vysokovoltnykh vozduzhnykh liniy pri koronnom razryade [Determination of the electric field strength of high-voltage overhead lines during corona discharge] [Text] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta. – 2020. – T. 12. – №. 4 (48). – P. 85–93.

10 **Puchkov, V. P., Evart, T. E., Pris, N. M.** Matematicheskoe modelirovanie raspredeleniya elektricheskogo polya v kanale elektromagnitnogo rashodomera [Mathematical modeling of the electric field distribution in the channel of an electromagnetic flow meter] [Text] // Vestnik MGTU «Stankin». – 2013. – № 4. – P. 81–85.

11 **Kirshenman, A.A., Kaverin, V. V.** Avtonomnyj istochnik pitaniya maloj moshnosti [Self-contained low-power power supply] [Text] // Patent RK №8544; Poleznaya model; opubl. 20.10.2023, bulletin № 42 – 6 p.

Поступило в редакцию 26.03.24.

Поступило с исправлениями 10.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

*\*А. А. Киrшенман, В. В. Каверин*

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

26.03.24 ж. баспаға түсті.

10.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ЖОҒАРЫ ВОЛЬТТЫ ӘУЕ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНІҢ БАСТАПҚЫ ТӘЖДІК ЭНЕРГИЯ ТҮРЛЕНДІРГІШІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ**

*Бұл мақалада "Ақпараттық жүйелер үшін электр қуатының дербес көзін әзірлеу" магистрлік диссертациясы шеңберінде әзірленген, әуе электр беру желілері (ӘЖ) тіректерінің жоғарғы жағында конструктивті орналасқан жоғары вольтты ӘЖ-і конструкциясының элементтерін диагностикалау жүйесінің электрмен жабдықтау көзін, электрондық блоктарын техникалық іске асырудың зерттеу нәтижелері мен нұсқасы ұсынылған. ӘЖ конструкциялары элементтерінің ерекшеліктерін және қауіпсіздік нормативтерінің талаптарын ескере отырып, электр қуатының дербес көздеріне қойылатын талаптар әзірленді. ӘЖ тәжінің бастапқы энергия түрлендіргішінің белсенді элементтерінің қолданыстағы конструкцияларына талдау жүргізілді және*

*қауіпсіздік техникасы мен тіректердің конструкциясының талаптары мен нормаларын ескере отырып, техникалық шешім негізге алынды. Электрмен жабдықтау блогының бастапқы түрлендіргішін ауыстыру схемасы жасалды. Тәждің электромагниттік өрісінің бастапқы энергия түрлендіргіші индуктивті резонатордың сыйымдылық байланысын және ӘЖ ток өткізгіш сымдарын қолдана отырып жасалады. Тәждік разрядтың спектрлік сипаттамаларына қатысты өзекті теориялық зерттеулерге талдау жасалды. Қуат көзінің аппараттық бөлігінің функционалды схемасы және автономды қуат көзінің схемасы жасалды. Ұсынылған техникалық шешім ғылыми қызығушылық тудырады және одан әрі зерттеу жүргізуді және техникалық шешімдерді өзірлеуді білдіреді.*

*Кілтті сөздер: автономды қуат көзі, электромагниттік резонанс, ширек толқындық резонатор, электромагниттік өріс, электр желісі.*

*\*A. A. Kirshenman, V. V. Kaverin*

*Abylkas Saginov Karaganda Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda.*

*Received 26.03.24.*

*Received in revised form 10.04.24.*

*Accepted for publication 02.06.24.*

## **RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A PRIMARY CORONA ENERGY CONVERTER FOR HIGH-VOLTAGE OVERHEAD POWER LINES**

*This article presents the results of research and a variant of the technical implementation of a power supply source, electronic components of a diagnostic system for structural elements of high-voltage overhead power lines (OPL) structurally located in the upper part of overhead line supports, which was developed as part of the master's thesis "Development of an autonomous electric power source for information*

*systems". The requirements for autonomous electric power sources have been developed, taking into account the features of overhead line structural elements and the requirements of safety standards. The analysis of the existing structures of the active elements of the primary corona overhead line energy converter was carried out and a technical solution was adopted as a basis, taking into account the requirements and safety standards and the design of the supports. A replacement circuit for the primary converter of the power supply unit has been developed. The primary energy converter of the electromagnetic field of the corona is made using a capacitive coupling of an inductive resonator and current-carrying overhead wires. The analysis of current theoretical studies of the spectral characteristics of the corona discharge is carried out. A functional diagram of the hardware of the power supply unit and a schematic diagram of an autonomous power supply source have been developed. The proposed technical solution is of scientific interest and implies further research and development of technical solutions.*

*Keywords: autonomous power supply source, electromagnetic resonance, quarter-wave resonator, electromagnetic field, power line.*

МРНТИ 621.313.3

<https://doi.org/10.48081/VMFW1810>

**\*Е. Н. Колесников<sup>1</sup>, Т. А. Новожилов<sup>2</sup>, Ж. С. Исенов<sup>1</sup>,  
О. М. Талипов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет,

Российская федерация, г. Омск

\*e-mail: [jeka89\\_pvl@mail.ru](mailto:jeka89_pvl@mail.ru)

## **УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО ТРЕХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ДВУХ МАГНИТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ТОКА**

*В электроэнергетических системах наибольшее распространение получили трехфазные трехобмоточные трансформаторы. Одним из наиболее часто встречающихся в них замыканий является витковое замыкание (ВЗ). Для защиты от них в настоящее время практически всегда используются традиционные токовые защиты. Однако они имеют низкую чувствительность к ВЗ. В настоящее время появились высокочувствительные защиты трехфазных трехобмоточных трансформаторов на магнитных трансформаторах тока. Они просты по конструкции, дешевы и способны защитить такой трансформатор от всех видов замыканий в их обмотках. В данной статье предложено устройство защиты трехфазного трехобмоточного трансформатора на магнитных трансформаторах тока. Описано взаимное расположение элементов трансформатора и МТТ и схема защиты. Так же представлены результаты экспериментальных исследований предложенного устройства защиты трехфазного трехобмоточного трансформатора проведенные в лаборатории кафедры Электроэнергетика НАО «Торайғыров университет».*



*Приведены осциллограммы тока в замыкающихся витках первичной обмотки трехфазного трансформатора и ЭДС на выходе МТТ в режиме нагрузки, и включения в сеть трансформатора ТТ-6 в режиме холостого хода.*

*Чувствительность предложенной защиты трехфазного трехобмоточного трансформатора на магнитных трансформаторах тока. в экспериментальном трансформаторе составила порядка 0,2-0,4 %.*

*Ключевые слова: трехфазный трехобмоточный трансформатор, замыкания в обмотках, магнитный трансформатор тока, релейная защита, экспериментальные исследования.*

### **Введение**

В электроэнергетических системах наибольшее распространение получили трехфазные трехобмоточные трансформаторы. Ими только в России укомплектовано порядка 461864 трансформаторных подстанций [1].

Из мировой практики эксплуатации трехфазных трансформаторов известно, что одним из наиболее часто встречающихся в них замыканий является витковое замыкание (ВЗ). В соответствии с [2; 3; 4; 5] на их долю в зависимости от мощности и условий эксплуатации приходится до 70-80% от всех отказов трансформатора.

Для защиты от них в настоящее время практически всегда используются традиционные токовые защиты, среди которых максимальные токовые защиты, токовые отсечки и дифференциальные токовые защиты [5;6]. Однако они имеют низкую чувствительность к ВЗ. Более чувствительны к ВЗ защиты на двух магнитных трансформаторах тока (МТТ), которые размещаются внутри бака трансформатора [7].

### **Материалы и методы**

Взаимное расположение элементов трансформатора и МТТ и схема защиты показаны на рисунке 1. Как видно из этого рисунка в трехфазном трансформаторе 1, на стержнях 2, 3 и 4 сердечника

которого размещаются одинаковые катушки 5, 6 и 7 с обмотками фаз А, В и С, по обмоткам высшего, среднего и низкого напряжения которым протекают трехфазные симметричные токи.

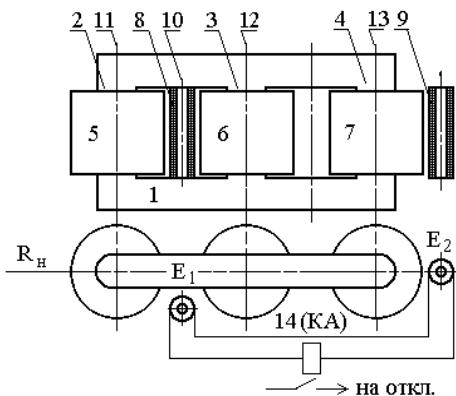


Рисунок 1 – Схемы размещения МТТ в трансформаторе и его защиты

МТТ 8 и 9 изготавливают в виде круглого стержня из текстолита длиной равной длине стержня трансформатора, на который равномерно наматывается обмотка из тонкого изолированного провода. При этом МТТ 8 закрепляется на трансформаторе так, чтобы ее ось 10 вращения была параллельна осям 11 и 12 стержней 2 и 3 фаз А и В, и располагалась на равном расстоянии от них. МТТ 9 размещается в баке трансформатора так, чтобы его ось лежала на плоскости R, которая проходит через оси 11 и 13 и была параллельна оси 13. Соединенные согласно - последовательно обмотки МТТ 8 и 9 присоединены к реагирующему органу 14 (КА), нормально разомкнутые контакты которого подключаются к цепи отключения выключателя трансформатора.

При таком пространственном расположении катушек 5-7 трансформатора и МТТ 8 ЭДС  $E_1$  в его обмотке индуцируется только токами в обмотках катушек 5 и 6 фаз А и В, а ЭДС  $E_2$  обмотке МТТ 9 – токами в обмотках катушки 7 фазы С [8;9].

В произвольном эксплуатационном режиме работы трансформатора по одинаковым обмоткам катушек 5-7

трансформатора 1 протекают симметричные токи, которые создают одинаковые магнитные поля рассеяния. При этом магнитные поля катушек 5 и 6 индуцируют в катушке индуктивности 8 ЭДС  $E_1$  равную по величине, но противоположную по знаку ЭДС  $E_2$  индуцированную в катушке индуктивности 9 магнитным полем катушки 7. В результате ЭДС на выходе измерительного преобразователя и ток в цепи реагирующего органа 14 будут равны нулю. При этом контакты реагирующего органа останутся разомкнутыми, и сигнал на отключение трансформатора будет отсутствовать.

При витковом замыкании в одной из обмоток катушек 5-7 в ней образуется дополнительный контур в виде замкнувшихся витков с током, величина которого на порядок больше тока в неповрежденной части этой обмотки. В результате изменится пространственное распределение магнитного поля катушки с поврежденной обмоткой, ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  будут не равны по величине, а в цепи реагирующего органа 14 появится ток. Контакты реагирующего органа 14 замкнутся и сформируют сигнал на отключение трансформатора от сети.

При междуфазном замыкании или при однофазном замыкании на корпус пространственное распределение катушек также будет неодинаковым. Следовательно,  $E_1$  и  $E_2$  также будут не равны по величине, в цепи реагирующего органа 14 появится ток, контакты реагирующего органа 14 замкнутся и сформируют сигнал на отключение трансформатора от сети.

В качестве реагирующего органа в защите может использоваться токовое реле РТ-40/0,2 с встречно-взаимным соединением обмоток. Цепи постоянного оперативного тока устройства рассматриваемой релейной защиты приведены на рисунке 2, где КА – токовое реле РТ-40,0,2; КТ – реле времени, с помощью которого выставляется порог срабатывания защиты по времени; КЛ – промежуточное реле; SX – кнопка для введения защиты в работу после устранения аварии.

Как видно из рисунка 2 при срабатывании реагирующего органа контакт КА замыкается, и по обмотке реле времени КТ будет

протекать ток, Реле времени КТ сработает и через время  $t_{ср}$  его контакты замкнутся. В результате по обмотке промежуточного реле станет протекать ток. Оно сработает. При этом замкнувшиеся контакты KL1.1 поставят промежуточное реле на самоподхват, а замкнувшиеся контакты KL1.2 сформируют сигнал на отключение выключателя.

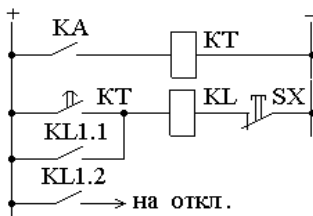


Рисунок 2 - Цепи постоянного оперативного тока устройства

В связи с неточным изготовлением и установкой как катушек трансформатора, так и МТТ в произвольном режиме работы в цепи реле 14 (КА) будет протекать ток небаланса. В связи с этим расчет порога срабатывания защиты должен осуществляться следующим образом.

Реле КА защиты не должно срабатывать при максимальных токах нагрузки трансформатора, а ток его срабатывания определяется по формуле (1) с аналогичным коэффициентом надежности принимаемым равным 1,3-1,4.

$$I_{ср} = I_{нб,макс} k_n \quad (1)$$

где  $I_{нб,макс}$  – ток при максимальных токах нагрузки трансформатора;

Реле КА защиты не должно срабатывать от броска тока намагничивания, возникающего при включении трансформатора в сеть и при КЗ на выводах. Отстройка от этих режимов работы трансформатора осуществляется задержкой срабатывания по времени, которое в зависимости от требуемой величины может быть

реализовано с помощью реле времени КТ. Время задержки срабатывания защиты определяется по формуле (2), а коэффициент запаса  $k_{\text{зап}}$  принимается равным 1,1-1,15с [10].

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{пп}} \cdot k_{\text{зап}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{пп}}$  – время длительности переходного процесса.

### Результаты и обсуждения

Экспериментальные исследования предложенного устройства защиты трехфазного трехобмоточного трансформатора проводились в лаборатории кафедры Электроэнергетика НАО «Торайгыров университет» под руководством д.т.н. профессора Новожилова А.Н. Параметры экспериментального трансформатора ТТ-6 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры экспериментального трансформатора ТТ-6

Параметры трансформатора ТТ-6	Обозначение	Величина
Напряжение питания, В	$U_1$	231
Ток холостого хода трансформатора, А	$I_{\text{хх}}$	0,127
Номинальный ток в обмотках высокого, среднего и низкого напряжений, А	$I_A, I_{a_1}, I_{a_2}$	9,11, 14,2, 7,1
Число витков в обмотках высокого,	$W_1, W_2, W_3$	252, 134, 31

среднего, низкого напряжений, вит.		
Активное сопротивление обмоток высокого, среднего и низкого напряжений, Ом	$R_1, R_2$ и $R_3$	0,9, 0,2, 0,1
Активные сопротивления нагрузки обмоток среднего и низкого напряжения, Ом	$R_{на1}$ и $R_{на2}$	46 и 0-10

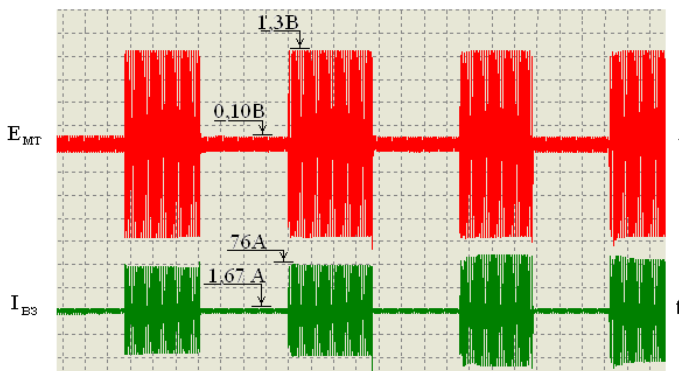


Рисунок 3 – Осциллограммы ВЗ в первичной обмотке ТТ-6 в режиме нагрузки

Результаты экспериментального исследования защиты трансформатора ТТ-6 в виде осциллограмм тока в замыкающихся витках первичной обмотки трехфазного трансформатора и ЭДС на выходе МТТ приведены на рисунке 3 в режиме нагрузки.

Осциллограммы получены при помощи программного обеспечения «Елена 2012», которое на базе ПК реализует двулучевой осциллограф. Авторами данного программного обеспечения являются Крюкова Е.В. и Новожилов Т.А. (руководитель Новожилова А. Н.).

Анализ осциллограмм на рисунке 3 показывает, что ЭДС небаланса МТ  $E_{нб}$  имеет максимальное значение равное 0,10В при номинальной нагрузке. При замыкании четырех витков первичной обмотки ЭДС МТ достигает 1,36В при нагрузке.

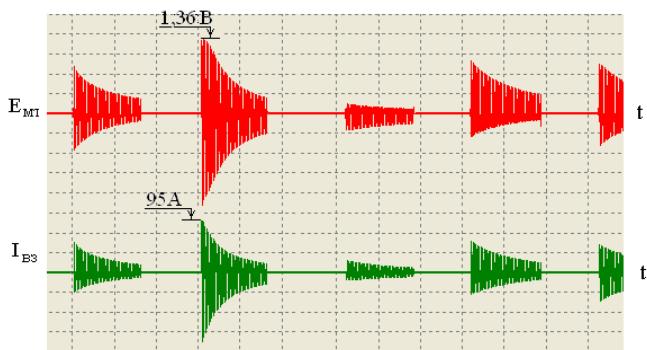


Рисунок 4 – Осциллограммы включения в сеть трансформатора ТТ-6 в режиме холостого хода

На рисунке 4 представлена осциллограмма включения в сеть экспериментального трансформатора. Согласно нее, бросок тока намагничивания достигает наибольшей величины равной 95А в режиме ХХ, а ЭДС небаланса МТ  $E_{нб}$  величины равной 1.36В.

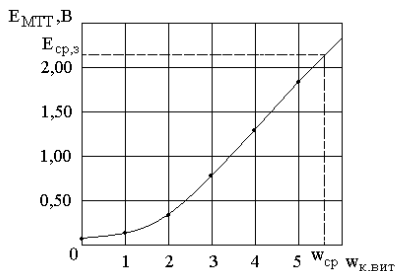


Рисунок 5 – Экспериментальная зависимость  $E_{\text{нб}}$  от количества замкнутых витков  $W_K$

На рисунке 5 представлена полученная экспериментально зависимость  $E_{\text{нб}}$  от количества замкнутых витков  $W_K$ . Чувствительность защиты к ВЗ определяется отношением  $W_K / W_{\text{об}}$  в процентах, где  $W_{\text{об}}$  – число витков в поврежденной обмотке.

Учитывая наибольшую ЭДС небаланса МТ  $E_{\text{нб}}$ , ЭДС МТТ приводящая к срабатыванию защиты составит:

$$E_{\text{ср},3} = k_n E_{\text{нб}} = 1,6 \cdot 1,36 = 2,176 \text{ В} \quad (3)$$

Пересечение линии  $E_{\text{ср},3}$  с графиком зависимости  $E_{\text{нб}}(w_k)$  на рисунке 5 позволяет оценить чувствительность защиты. Как видно из него, защита чувствительна к замыканию 6 витков первичной обмотки.

### Информация о финансировании

Это исследование было профинансировано Министерством Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (ИРН АР14972779).

### Выводы

1 Предлагаемая токовая защита проста и дешева, легко реализуется на трехфазных трехобмоточных трансформаторах и способна реагировать на все виды замыканий в их обмотках.



2 В экспериментальном трансформаторе чувствительность защиты к ВЗ составила порядка 0,2-0,4%. Есть все основания полагать, что чувствительность защиты на двух МТТ трехфазных трехобмоточных трансформаторов с другими параметрами будет аналогичной.

### *СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ*

1 **Казакул, А. А., Кушнарёва, Ю. А.**, Анализ количества работающих трансформаторов на подстанциях филиалов АО «ДРСК». Главный энергетик. 2022;10.

2 **Засыпкин, А.С.** Релейная защита трансформаторов [Текст] / Засыпкин А.С. –М. : Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.

3 **Уолтер, А. Элмор**, Теория и применение релейной защиты [Protective Relaying Theory and Applications], Marcel Dekker Inc. Нью-Йорк, Базель, 2004..

4 **Шабад, М. А.** “Защита трансформаторов и распределительной сети”, Энергоиздат, -1981 [in Russian].

5 **Новожилов, А. Н., Новожилов, Т. А.** Релейная защита однофазного трансформатора на магнитных трансформаторах тока / - Павлодар: Изд-во ПГУ,- 2017г. – 117 с. с ил.

6 **Чернобровов, Н. В.** Релейная защита. – 4-е издание [Текст] / Чернобровов Н. В. –М. : Энергия, 1974. – 680 с.

7 Иннов. пат. №26738 РК. МПК H02H 7/04. Устройство защиты трехфазного трансформатора от замыканий обмоток / Новожилов А. Н., Новожилов Т. А., Колесников Е. Н. и др.; опубли. 15.03.13, Бюл. №3. – 3 с.

8 **Симони, К.** Основы электротехники [Foundations of Electrical Engineering], The Maximillan Company, Нью-Йорк, 1963.

9 **Бессонов, Л. А.**, Теоретические основы электротехники, Высшая школа, Москва, 1967 [in Russian].

10 **Беркович, М. А., Молчанов, В. В., Семенов, В. А.** Основы техники релейных защит. – М. : Энергоатомиздат 1984. - 232 с.

## REFERENCES

- 1 **Kazakul, A. A., Kushnaryova, Yu. A.**, Analiz kolichestva rabotayushhix transformatorov na podstanciyax filialov AO «DRSK» [Analysis of the number of working transformers at substations of branches of JSC «DRSK»]. Glavny`j e`nergetik. 2022;10.
- 2 **Zasy`pkin, A. S.** Relejnaya zashhita transformatorov [Text] [Relay protection of transformers] / Zasy`pkin A.S. – Moscow : E`nergoatomizdat, 1989. – 240p.
- 3 **Walter, A. Elmore**, Protective Relaying Theory and Applications, Marcel Dekker Inc. New York, Basel, 2004..
- 4 **Shabad, M. A.** «Protection of transformers of distribution networks», Energoizdat, -1981 [in Russian].
- 5 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A.** Relejnaya zashhita odnofaznogo transformatora na magnitny`x transformatorax toka [Relay protection of a single-phase transformer on magnetic current transformers] / - Pavlodar: Izd-vo PGU, – 2017g. – 117p. s il.
- 6 **Chernobrovov, N. V.** Relejnaya zashhita [Relay protection]. – 4-e izdanie [Text] / Chernobrovov N.V. – Moscow : E`nergiya, 1974. – 680 p.
- 7 Innov. pat. №26738 RK. MPK N02N 7/04. Ustrojstvo zashhity` trexfaznogo transformatora ot zamy`kanij obmotok [Three-phase transformer protection device against winding short circuits] / Novozhilov A. N., Novozhilov T. A., Kolesnikov E.N. i dr.; opubl. 15.03.13, Byul. №3. – 3 p.
- 8 **Simonyi, K.** Foundations of Electrical Engineering, The Maximillan Company, New York, 1963.
- 9 **Bessonov, L. A.**, «Theoretical foundations of electrical engineering», Vysshaya shkola, Moscow, 1967 [in Russian].
- 10 **Berkovich, M. A., Molchanov, V. V., Semenov V. A.** Osnovy` texniki relejny`x zashhit [Fundamentals of relay protection technology]. – Moscow : E`nergoatomizdat 1984. – 232 p.

Поступило в редакцию 26.03.24.

Поступило с исправлениями 29.04.24.

Принято в печать 02.06.24

\* *Е. Н. Колесников<sup>1</sup>, Т. А. Новожилов<sup>2</sup>, Ж. С. Исенов<sup>1</sup>, О. М. Талипов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қаласы

<sup>2</sup>Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Ресей Федерациясы, Омбы,  
26.03.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ЕКІ МАГНИТТІК ТОК ТРАНСФОРМАТОРЫНДАҒЫ ҮШ ФАЗАЛЫ ҮШ ОРАМАЛЫ ТРАНСФОРМАТОРДЫ ҚОРҒАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ**

*Электр энергетикалық жүйелерде үш фазалы үш орамалы трансформаторлар кең таралған. Оларда жиі кездесетін түйықталулардың бірі-айналмалы түйықталу (АТ). Олардан қорғау үшін қазіргі уақытта дәстүрлі ток қорғаныстары әрдайым қолданылады. Дегенмен, олардың АТ-ға сезімталдығы төмен. Қазіргі уақытта магниттік ток трансформаторларында үш фазалы үш орамалы трансформаторлардың жоғары сезімтал қорғаныстары пайда болды. Олар дизайны бойынша қарапайым, арзан және мұндай трансформаторды орамдарындағы барлық түйықталулардан қорғай алады. Бұл мақалада магниттік ток трансформаторларындағы үш фазалы үш орамалы трансформаторды қорғау құрылғысы ұсынылған. Трансформатор мен МТТ элементтерінің өзара орналасуы және қорғаныс схемасы сипатталған. Сондай-ақ «Торайгыров университеті» КЕАҚ Электр энергетикасы кафедрасының зертханасында өткізілген үш фазалы үш орамалы трансформаторды қорғаудың ұсынылған құрылғысының эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері ұсынылды.*

*Жүктеме режимінде МТТ шығысында үш фазалы трансформатордың және ЭҚК бастапқы орамасының түйықталу*

*бұрылыстарында токтың осциллограммалары және бос жүріс режимінде тт-б трансформаторын желіге қосу келтірілген.*

*Магниттік ток трансформаторларындағы үш фазалы үш орамалы трансформатордың ұсынылған қорғанысының сезімталдығы. эксперименттік трансформаторда ол шамамен 0,2-0,4 % құрады.*

*Кілтті сөздер: үш фазалы үш орамалы трансформатор, орамдағы тұйықталу, магниттік Ток трансформаторы, релелік қорғаныс, эксперименттік зерттеулер.*

*\*E. N. Kolesnikov<sup>1</sup>, T. A. Novozhilov<sup>2</sup>, Ж.С. Исенов<sup>1</sup>, О. М. Talipov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2</sup>Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk,

Received 26.03.24.

Received in revised form 29.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **PROTECTION DEVICE FOR A THREE-PHASE THREE-WINDING TRANSFORMER ON TWO MAGNETIC CURRENT TRANSFORMERS**

*Three-phase three-winding transformers have become the most widespread in electric power systems. One of the most common closures in them is the winding closure (WC). Currently, traditional current protections are almost always used to protect against them. However, they have a low sensitivity to WC. Currently, highly sensitive protections for three-phase three-winding transformers on magnetic current transformers have appeared. They are simple in design, cheap and able to protect such a transformer from all types of short circuits in their windings. In this article, a protection device for a three-phase three-winding transformer for magnetic current transformers is proposed. The mutual arrangement of the transformer and MTT elements and the protection circuit are described. The results of experimental studies of the proposed three-phase three-winding transformer protection device*

*conducted in the laboratory of the Department of Electric Power Engineering of NAO "Toraigyrov University" are also presented.*

*The oscillograms of the current in the closing turns of the primary winding of a three-phase transformer and the EMF at the MTT output in load mode, and the inclusion of the TT-6 transformer in the network in idle mode are presented.*

*The sensitivity of the proposed protection of a three-phase three-winding transformer on magnetic current transformers. in the experimental transformer, it was about 0.2-0.4%.*

*Keywords: three-phase three-winding transformer, short circuits in windings, magnetic current transformer, relay protection, experimental studies.*

МРНТИ 44.01.75

<https://doi.org/10.48081/IPWO8799>**\*И. А. Коломыцева, Е. С. Котов**

*Карагандинский технический университет имени А. Сагинова,  
Республика Казахстан, г. Караганда*

*\*e-mail: [kolomirina@mail.ru](mailto:kolomirina@mail.ru)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА**

*В статье представлены результаты ввода в эксплуатацию автоматизированной системы управления насосной станцией центрального теплового пункта в жилом комплексе «Жануя-2», расположенном в городе Караганда.*

*Статья представляет собой исследование влияния различных факторов, таких как объем водопотребления, температура наружного воздуха, скорость ветра и атмосферное давление на электропотребление насосной станции. С использованием методов регрессионного анализа авторы стремятся выявить зависимости между указанными переменными. По итогам анализа построена адекватная модель. Результатом является готовое регрессионное уравнение, описывающее зависимость факторов и отклика проводимого анализа. Регрессионный анализ, примененный в данной работе, может служить образцом для анализа взаимосвязей в других подобных системах.*

*Возможность прогнозирования реального суточного электропотребления насосной станции, основанного на анализе данных, дает возможность более эффективно планировать техническое обслуживание, управлять пиковыми нагрузками на энергосистему и предупреждать о возможных изменениях в потреблении, связанных с сезонными или погодными факторами. Полученные результаты предоставляют важную информацию для специалистов, занимающихся проектированием и управлением*

*насосными станциями, и способствуют разработке эффективных стратегий управления энергопотреблением с учетом изменений внешних факторов.*

*Ключевые слова: технологический процесс, насосная станция, система управления, прогнозирование, регрессионный анализ, отклик, факторы, водопотребление.*

## **Введение**

Переход к автоматизированному управлению существующих технологических процессов обусловлен увеличением скорости их протекания, следовательно, и увеличением объема получаемой и перерабатываемой информации. К тому же большое влияние на процесс производства оказывает «человеческий фактор», имеющий множество проявлений. В результате, функции управления в большем объеме передаются автоматическим устройствам [1].

В последние годы представлено множество различных систем управления насосными станциями центральных тепловых пунктов (ЦТП), которые варьируются по типу, функциональности и степени автоматизации. Эти системы обычно направлены на повышение эффективности работы насосов, уменьшение потребления энергии и снижение износа оборудования.

Общие тенденции в области разработки систем управления насосными станциями сводятся к использованию современных технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение, интернет вещей для управления станциями. С наблюдаемой тенденцией увеличения интереса к экологическим вопросам предприятия стремятся улучшить энергоэффективность насосных станций. Для этого ведется поиск способов оптимизации работы станций с целью снижения энергопотребления. Другим направлением является разработка систем мониторинга и диагностики, которые позволяют операторам следить за состоянием насосных станций, выявлять возможные сбои и предпринимать своевременные меры по их предотвращению.

## **Материалы и методы**

Центральные тепловые пункты, работающие на большое количество потребителей, представляют собой многоагрегатные насосные станции.

Эффективность насосной станции определяется её способностью обеспечивать необходимое давление и пропускную способность воды в системе, используя минимальное количество электроэнергии [2].

Для повышения эффективности насосных станций вводятся в эксплуатацию автоматизированные системы управления.

На данный момент идет апробация системы управления насосной станцией центрального теплового пункта ЖК «Жануя–2» в г. Караганда. Данная система была создана с целью управления работой насосной станции и контроля технологических параметров.

Система управления трехуровневая [3]: уровень датчиков и исполнительных механизмов, уровень управления на базе промышленных контроллеров, уровень человеко–машинного интерфейса для управления процессом. Принцип управления такой системы описан в [4]. Трехуровневые системы могут быть легко адаптированы к различным условиям и изменениям в потребительском спросе, что делает их более гибкими в сравнении с более простыми системами управления.

В качестве средств автоматизации, выполняющих функции контроля, сигнализации, регистрации, автоматического регулирования и дистанционного управления разработан программно–технический комплекс (ПТК) на базе контроллера, включающий в себя автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора [5].

По данным исследователей, суммарное потребление электроэнергии насосными станциями в развитых странах составляет четвертую часть всей вырабатываемой энергии. Однако они имеют большой резерв в направлении энергосбережения.

Экономия электроэнергии является сопутствующим фактором при выполнении основной задачи – бесперебойного и устойчивого снабжения водой требуемых гидравлических параметров и требуемого качества [6]. Внедрение автоматизированных систем управления на основе частотно–регулируемого привода позволяет достичь до 30% экономии электроэнергии.

На основе анализа данных, полученных после ввода в эксплуатацию системы управления, можно спрогнозировать реальное суточное электропотребление насосной станции, что позволит эффективнее планировать техническое обслуживание оборудования, управлять



пиковыми нагрузками на энергосистему, предупреждая о возможных всплесках потребления, связанных с началом отопительного сезона или изменениями в погодных условиях.

Прогнозирование электропотребления насосных станций ЦТП является неотъемлемой частью современных решений в области теплоснабжения, направленных на повышение эффективности, экономии ресурсов и обеспечение надежной работы систем.

Регрессионные и авторегрессионные модели являются наиболее распространенными для прогнозирования различных процессов, простыми и прозрачными, по сравнению с нейросетевыми моделями. Также немаловажным достоинством этих моделей следует отметить единообразие анализа и проектирования.

Для прогнозирования электропотребления проведен регрессионный анализ с помощью ППП «STATISTICA».

Суть регрессионного анализа заключается в нахождении наиболее важных факторов, которые влияют на зависимую переменную [7]. Зависимой переменной принято электропотребление насосной станции. Влияющие факторы: температура воздуха, водопотребление, скорость ветра, влажность, давление. Все факторы являются количественными.

В общем виде уравнение регрессии имеет вид (1):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4, \quad (1)$$

где  $y$  – электропотребление насосной станции;

$b_0$  – свободный член уравнения регрессии;

$x_1$  – температура воздуха;

$x_2$  – объем водопотребления;

$x_3$  – скорость ветра;

$x_4$  – атмосферное давление;

$b_1$  – коэффициент при факторе «температура воздуха»;

$b_2$  – коэффициент при факторе «объем водопотребления»;

$b_3$  – коэффициент при факторе «скорость ветра»;

$b_4$  – коэффициент при факторе «атмосферное давление».

Следующим шагом необходимо провести поиск мультиколлинеарных факторов. Мультиколлинеарность представляет собой статистическое

явление, при котором независимые переменные в модели данных сильно коррелированы друг с другом. В случае множественной регрессии мультиколлинеарность может создавать проблемы, так как затрудняется идентификация отдельного влияния каждой переменной на зависимую переменную. Коэффициент корреляции должен быть больше 0,7 [8].

В таблице 1 представлена корреляционная матрица.

Таблица 1 – Корреляционная матрица факторов и отклика

Переменная	Температура воздуха, °С	Объем водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	Скорость ветра, м/с	Атмосферное давление, гПа	Электропотребление насосной станции, кВт*ч
Температура воздуха, °С	1,000000	-0,523151	-0,027365	-0,569401	-0,556664
Объем водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	-0,523151	1,000000	0,021902	0,349764	0,520999
Скорость ветра, м/с	-0,027365	0,021902	1,000000	-0,300938	0,140647
Атмосферное давление, гПа	-0,569401	0,349764	-0,300938	1,000000	0,315172
Электропотребление насосной станции, кВт*ч	-0,556664	0,520999	0,140647	0,315172	1,000000

По данным таблицы видно, что мультиколлинеарные факторы отсутствуют.

Следующим шагом построена таблица 2, отражающая итоги регрессии для зависимой переменной (электропотребление насосной станции) с указанием уровней значимости.

Решающим значением для дальнейшей работы является уровень значимости  $p$ -значение. Величина  $p$ -значения показывает вероятность получения наблюдаемых результатов при условии, что нулевая гипотеза верна, или вероятность ошибки в случае отклонения нулевой гипотезы [9]. Нулевая гипотеза представляет собой утверждение, которое проверяется при помощи статистического теста. Это обычно утверждение о том, что нет статистически значимого эффекта, различия или влияния в данных.

Уровень значимости влияния факторов должен быть меньше 0,05.

Таблица 2 – Уровни значимости факторов

Фактор	$\beta$	B	Уровень значимости $p$ -значение
Свободный член		6100,934	0,676595
Температура воздуха, °C	– 0,368817	–45,889	0,000001
Объем водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	0,312354	35,981	0,000002
Скорость ветра, м/с	0,134681	210,234	0,021958
Атмосферное давление, гПа	0,036448	7,796	0,608944

Согласно данным, приведенным в таблице 2, уровень значимости некоторых исследуемых факторов меньше 0,05. Для фактора «Атмосферное давление, гПа» значения больше 0,05. Из этого следует, что данный фактор необходимо исключить из дальнейшего анализа.

Итоговые значения уровней значимости факторов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Уровни значимости факторов

Фактор	$\beta$	B	Уровень значимости р- значение
Свободный член		13579,44	0,000000
Температура воздуха, °C	– 0,388462	–48,33	0,000000
Объем водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	0,315078	36,29	0,000001
Скорость ветра, м/с	0,123116	192,18	0,022874

Далее проведена проверка правильности работы модели, представляющая собой анализ остатков. Остатки в регрессионном анализе представляют собой разницу между фактическими значениями зависимой переменной и значениями, предсказанными моделью.

В основе линейной регрессии лежат следующие положения [10]:

- остатки нормально распределены;
- остатки не зависят от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика.

Построены гистограмма распределения остатков (рисунок 2) и нормальный вероятностный график остатков (рисунок 3).

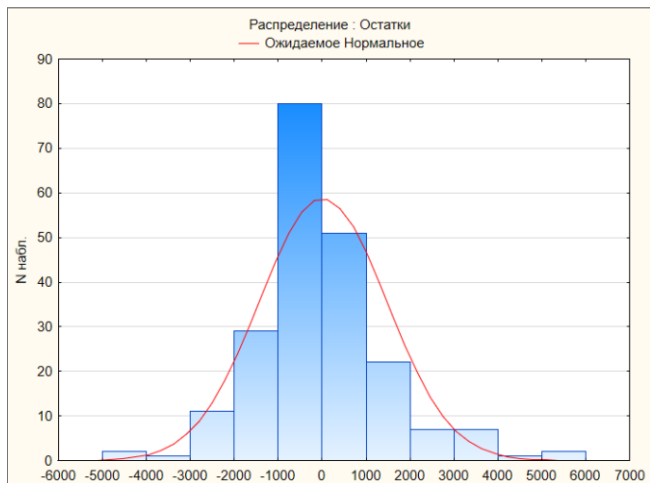


Рисунок 2 – Гистограмма распределения остатков

Гистограмма распределения остатков относительно симметрична. Единичный выброс в гистограмме распределения остатков указывает на наличие наблюдений, которые существенно отличаются от остальных данных в выборке. Это может также свидетельствовать о том, что модель не справляется с объяснением каких-то особых случаев в данных.

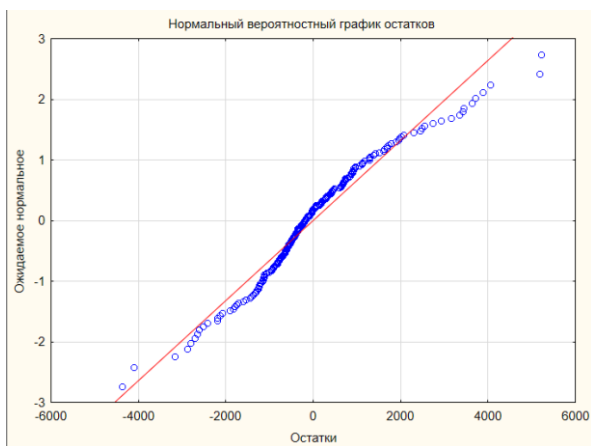


Рисунок 3 – Нормальный вероятностный график остатков

Согласно рисунку 3 фактические значения остатков не систематически отклоняются от теоретической нормальной прямой, соответственно гипотеза о нормальности распределения остатков не отклоняется.

Для подтверждения второго положения линейной регрессии построена диаграмма рассеяния. График предсказанных значений и остатков показан на рисунке 4.

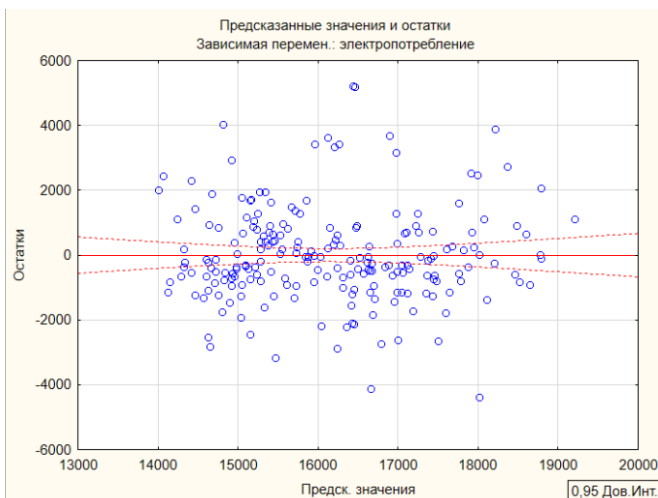


Рисунок 4 – Предсказанные значения и остатки

По данным диаграммы рассеяния видно, что точки расположены хаотично. Систематичности в расположении не наблюдается. Можно сделать вывод, что зависимость остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика отсутствует.

Далее проведен анализ коэффициента детерминации. Коэффициент детерминации ( $R$ -квадрат) измеряет долю дисперсии зависимой переменной, которая может быть объяснена предсказанными значениями модели. принимает значения от 0 до 1, где 0 означает, что модель не объясняет вариацию зависимой переменной, а 1 означает, что модель полностью объясняет вариацию.

#### Результаты и обсуждение

По итогам проведенного анализа коэффициент детерминации составляет 0,83, что говорит об адекватности построенной модели.

С учетом полученных данных, представленных в таблице 12, составлено уравнение регрессии (2) для прогнозирования суточного электропотребления насосной станции центрального теплового пункта.

$$y = 13579,44 - 48,33 \cdot x_1 + 36,29 \cdot x_2 + 192,18 \cdot x_3, \quad (2)$$

где  $y$  – электропотребление насосной станции;

$b_0$  – свободный член уравнения регрессии;

$x_1$  – температура воздуха;

$x_2$  – объем водопотребления;

$x_3$  – скорость ветра.

Полученное уравнение регрессии может быть интерпретировано следующим образом: при увеличении среднесуточной температуры наружного воздуха на один градус по шкале Цельсия электропотребление насосной станции уменьшается на 48,33 кВт\*ч, при увеличении среднего суточного объема водопотребления на 1 м<sup>3</sup>/ч электропотребление увеличивается на 36,29 кВт\*ч, при увеличении средней суточной скорости ветра на 1 м/с электропотребление увеличивается на 192,18 кВт\*ч (особенно это видно в холодный период года).

### **Выводы**

Влияние вышеобозначенных факторов на электропотребление насосной станции центрального теплового пункта доказано при помощи регрессионного анализа.

Полученная модель прогнозирования позволит точно определять будущее электропотребление станции при наличии известных данных об объеме водопотребления, температуре окружающего воздуха и скорости ветра. Научные исследования в области прогнозирования способствуют созданию более энергоэффективных и устойчивых систем управления, что в свою очередь может содействовать уменьшению воздействия на окружающую среду, снижению затрат на электроэнергию и обеспечению более надежной работы системы в долгосрочной перспективе.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Зуев, К. И.** Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / К. И. Зуев; Владим. гос. ун–т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд–во ВлГУ, 2016. – 224 с.

2 **Белов М. П., Кахоров Р. А., Новиков В. А., Прокопов А. А.** Развитие энергосберегающих электроприводных систем и способ повышение их эффективности в технологиях / М. П. Белов, Р. А. Кахоров, В. А. Новиков, А. А. Прокопов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. Вып. 5. С. 78–89

3 **Титаев, А. А.** Промышленные сети : учеб. пособие / А. А. Титаев ; Мин–во науки и высшего образования РФ.– Екатеринбург : Изд–во Урал. ун–та, 2020.— 124 с.

4 **Коломыцева, И. А., Котов, Е. С.** Разработка системы управления насосной станцией центрального теплового пункта ЖК «Жануя–2» / И. А. Коломыцева, Е. С. Котов // Труды Международной научно–практической конференции «XV Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства», 16–17 июня 2023 г. В 3–х частях. Часть 2 / Министерство науки и высшего образования РК, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова. – Караганда: Изд–во КарТУ им. А.Сагинова, 2023.

5 **Коломыцева И. А., Котов Е.С.** Перспективы модернизации насосной станции центрального теплового пункта ЖК «Жануя–2» в г. Караганда / И. А. Коломыцева, Е. С.Котов // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XX Международной научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 20–22 марта 2023 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд–во Томского политехнического университета, 2023.

6 **Сотников, Д. В.** Повышение энергетической эффективности насосных станций // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки : науч.–теорет. и практ. журн. / ГОУ ВПО «Тамб. гос. ун–т им. Г. Р. Державина». – Тамбов, 2013. – ISSN 1810–0198. Т.18. №5. С. 2954–2956.



7 **Максимова Т. Г., Попова И.Н.** Эконометрика: учебно–методическое пособие / Т. Г. Максимова, И. Н. Попова. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 70 с.

8 **Каморников С. Ф., Каморников С. С.** Эконометрика : учебное пособие. – М. : Интеграция, 2014. – 262 с.

9 **Жаров А. Н.** Анализ данных: учебное пособие / Жаров А.Н., Минеичева И. Г. – Ярославль : ООО «ПКФ «СОЮЗ–ПРЕСС», 2020. – 148 с.

10 Основы линейной регрессии [Электронный ресурс]. URL: <http://statistica.ru> (Дата обращения 11.11.2023).

## REFERENCES

1 **Zuev, K. I.** Avtomatizatsiya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya : ucheb. Posobie [Automation of water supply and wastewater systems : textbook] / K. I. Zuev; Vladim. gos. un–t im. A. G. i N. G. Stoletovykh. – Vladimir : Izd–vo VLGU, 2016. – 224 p.

2. **Belov M. P., Kakhorov R. A., Novikov V. A., Prokopov A. A.** Razvitie ehnergosberegayushchikh ehlektroprivodnykh sistem i sposob povysheniye ikh ehffektivnosti v tekhnologiyakh [Development of energy–saving electric drive systems and a method for increasing their efficiency in technologies] / M.P. Belov, R. A. Kakhorov, V. A. Novikov, A. A. Prokopov // Izv. SPBGEHTU «LEHTI». – 2016. – Вып. 5. P. 78–89

3 **Titaev, A. A.** Promyshlennye seti : ucheb. posobie [Industrial networks : textbook] / A. A. Titaev ; Min–vo nauki i vysshego obrazovaniya RF.– Ekaterinburg : Izd–vo Ural. Un–ta, 2020.– 124 p.

4 **Kolomytseva, I. A., Kotov, E. S.** Razrabotka sistemy upravleniya nasosnoi stantsiei tsentralnogo teplovogo punkta ZhK «Zhanuya–2» [Development of the pumping station control system of RC «Zhanuia–2» central heat point] / I. A. Kolomytseva, E. S.Kotov // Trudy Mezhdunarodnoi nauchno–prakticheskoi konferentsii «XV Saginovskie chteniya. Integratsiya obrazovaniya, nauki i proizvodstva», 16–17 iyunya 2023 g. V 3–kh chastyakh. Chast' 2 / Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RK, Karagandinskii tekhnicheskii universitet imeni Abylkasa Saginova. – Karaganda : Izd–vo KaRTU im. A.Saginova, 2023.

5. **Kolomytseva, I. A., Kotov, E. S.** Perspektivy modernizatsii nasosnoi stantsii tsentralnogo teplovogo punkta ZHK «Zhanuya–2» v g.Karaganda [Prospects of modernization of pumping station of RC «Zhanuia–2» central heat point in Karaganda] / I. A. Kolomytseva, E. S. Kotov // Molodezh' i sovremennye informatsionnye tekhnologii : sbornik trudov XX Mezhdunarodnoi nauchno–prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Tomsk, 20–22 marta 2023 g.) / Tomskii politekhnicheskii universitet. – Tomsk : Izd–vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2023.

6 **Sotnikov, D. V.** Povyshenie ehnergeticheskoi ehffektivnosti nasosnykh stantsii [Increasing energy efficiency of pumping stations] // Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser. Estestvennye i tekhnicheskie nauki : nauch.–teoret. i prakt. zhurn. / GOU VPO "Tamb. gos. un–t im. G. R. Derzhavina". – Tambov, 2013. – ISSN 1810–0198. T.18. №5. P. 2954–2956.

7 **Maksimova, T. G., Popova I.N.** Ehkonometrika : uchebno–metodicheskoe posobie [Econometrics] / T. G. Maksimova, I. N. Popova. – SPb. : Universitet ITMO, 2018. – 70 p.

8 **Kamornikov S. F., Kamornikov S. S.** Ehkonometrika : uchebnoe posobie. [Econometrics] – Moscow : Integratsiya, 2014. – 262 p.

9 **Zharov A. N.** Analiz dannykh: uchebnoe posobie [Data analysis] / Zharov A. N., Mineicheva I. G. – Yaroslavl' : OOO «PKF «SOYUZ–PRESS», 2020. – 148 p.

10 Osnovy lineinoi regressii [Ehlektronnyi resurs] [Linear regression framework] . URL: <http://statistica.ru> (Data obrashcheniya 11.11.2023).

Поступило в редакцию 11.01.24.

Поступило с исправлениями 12.01.24.

Принято в печать 02.06.24.

*\*И. А. Коломьцева, Е. С. Котов*

Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті  
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

11.01.24 ж. баспаға түсті.

12.01.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## РЕГРЕССИЯЛЫҚ ТАЛДАУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, СОРҒЫ СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ҚУАТЫН ТҰТЫНУДЫ БОЛЖАУ

*Мақалада Қарағанды қаласында орналасқан «Жанұя–2» тұрғын үй кешеніндегі пайдалануға берілген орталық жылу пунктiнiң сорғы станциясымен басқарудың автоматтандырылған жүйесiнiң нәтижелерi келтiрiлген.*

*Мақала суды тұтыну көлемi, сыртқы температура, желдiң жылдамдығы және сорғы станциясының электр тұтынуына атмосфералық қысым сияқты әртүрлi факторлардың әсерiн зерттеу болып табылады. Регрессиялық талдау әдiстерiн қолдана отырып, авторлар көрсетiлген айнымалылар арасындағы тәуелдiлiктердi анықтауға тырысады. Талдау нәтижелерi бойынша сәйкестiрiлiнген моделi құрылды. Нәтижесi ретiнде жүргiзiлген талдаудың факторлары мен жауаптарының тәуелдiлiгiн сипаттайтын дайын регрессиялық теңдеу болып табылады. Осы жұмыста қолданылатын регрессиялық талдау басқа ұқсас жүйелердегi қатынастарды талдауға үлгi бола алады.*

*Деректердi талдауға негiзделген сорғы станциясының нақты тәуелiлiк электр қуатын тұтынуын болжау мүмкiндiгi техникалық қызмет көрсетудi тиiмдiрек жоспарлауға, электр желiсiнiң ең жоғары жүктемелерiн басқаруға және маусымдық немесе ауа райы факторларына байланысты тұтынудың ықтимал өзгерiстерi туралы ескертуге мүмкiндiк бередi. Нәтижелер сорғы станцияларын жобалаумен және басқарумен айналысатын мамандар үшiн маңызды ақпарат бередi және сыртқы факторлардың өзгеруiн ескере отырып, энергияны басқарудың тиiмдi стратегияларын жасауға ықпал етедi.*

*Кiлттi сөздер: технологиялық процесс, сорғы станциясы, басқару жүйесi, болжау, регрессиялық талдау, жауап, факторлар, суды тұтыну.*

\*I. A. Kolomytseva, E. S. Kotov

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda;

Received 11.01.24.

Received in revised form 12.01.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **PREDICTION OF PUMPING STATION POWER CONSUMPTION USING REGRESSION ANALYSIS**

*The article presents the results of implementing an automated control system for the pumping station of the central thermal point in the residential complex «Zhanyua–2» located in the city of Karaganda.*

*The study explores the impact of various factors, such as water consumption volume, outside air temperature, wind speed, and atmospheric pressure, on the power consumption of the pumping station. Utilizing regression analysis methods, the authors aim to identify dependencies among the specified variables. An adequate model is constructed based on the analysis results. The outcome is a completed regression equation describing the relationship between the analyzed factors and responses. The regression analysis applied in this work can serve as a model for analyzing relationships in other similar systems.*

*The ability to forecast the actual daily power consumption of the pumping station, based on data analysis, allows for more effective planning of technical maintenance, managing peak loads on the power grid, and predicting potential consumption changes related to seasonal or weather factors. The obtained results provide crucial information for professionals involved in the design and management of pumping stations, contributing to the development of efficient energy consumption management strategies considering external factor variations.*

*Keywords: technological process, pumping station, control system, prediction, regression analysis, response, factors, water consumption.*

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/VINY7625>**\*Б. Е. Машрапов, М. Я. Клецель, Р. М. Машрапова**

Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

\*e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

## **КЕРІ ТІЗБЕКТЕГІ ТОКТАРДЫ БАҚЫЛАУМЕН ТОКТЫҚ ҚОРҒАНЫСҚА АРНАЛҒАН ӨЛШЕУ ОРГАНЫ**

*Дәстүрлі ток трансформаторларын пайдаланбай қорғаныс құру электр энергетикасының өзекті мәселелерінің бірін шешуге мүмкіндік беретіні атап өтілді. Тең бүйірлі үшбұрыштың төбелерінде орналасқан фазалардың ток өткізгіштері бар электр қондырғылары үшін геркондар мен индуктивтілік катушкалары негізіндегі тоқтық қорғаныс үшін өлшеу органы ұсынылған. Геркондар мен индуктивтілік катушкалары электр қондырғысының фазаларының ток өткізгіштеріндегі токтардың магнит өрісінде олардың колденең қимасы жазықтығында қауіпсіз қашықтықта орналасады. Геркон үш фазалы қысқа тұйықталу токтарын анықтау үшін, ал индуктивтілік катушкаларындағы электр қозғаушы күші кері тізбектегі токтардың сүзгісін құру үшін қолданылатыны көрсетілген. Өлшеу органының сызбасы және геркондар мен индуктивтілік катушкаларын орнату координаталарын, сондай-ақ кері тізбектегі токтардың сүзгі сұлбасының элементтерінің параметрлерін анықтау әдістемесі ұсынылған. Өлшеу органының жұмыс істеу сенімділігін қамтамасыз ету үшін ол ақаулықтардың кіріктірілген функционалды диагностикасымен жабдықталған. Диагностика индуктивтілік катушкаларының шықпаларындағы кернеулерді және геркондардың түйіспелерінің тұйықталған күйінің уақытын бақылау арқылы жүзеге асырылады. Ұсынылған өлшеу органының беталысы әртүрлі режимдерде, сондай-ақ диагностиканың қалай*

*жүзеге асырылатындығы және оны орындау барысында қандай ақаулар анықталатыны егжей-тегжейлі қарастырылған.*

*Кілтті сөздер: қорғаныс, өлшеу органы, геркон, индуктивтілік катушкасы, кері тізбек тогы.*

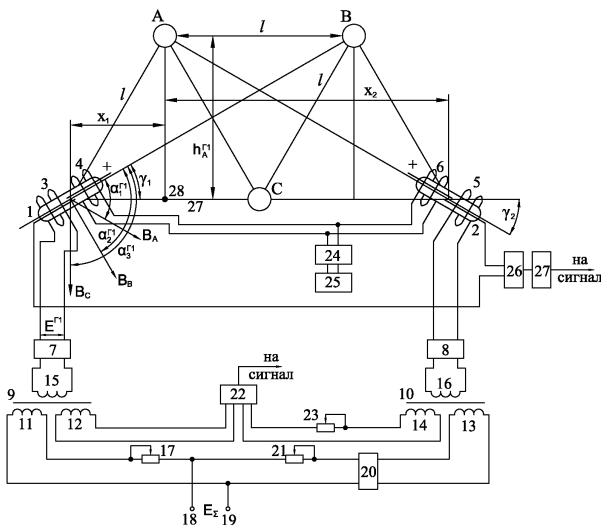
## **Кіріспе**

Токтық қорғаныстар кернеуі 6-110 кВ электр қондырғыларында (ЭҚ) қолданылатын қысқа тұйықталудан ең көп таралған қорғанысы болып табылады. Жағдайлардың басым көпшілігінде олардың өлшеу органдары ЭҚ-ның шиналарындағы токтар туралы ақпаратты ферромагниттік өзектері бар дәстүрлі ток трансформаторларынан (ТТ) алады. Бұл ТТ-ларында бірқатар белгілі кемшіліктер бар [1; 2; 3], бұл ғылыми отырыстарда оларды өте кішігірім ток датчиктерімен ауыстыру қажеттілігі туралы мәселесі бірнеше рет көтерілді. Қазіргі уақытта релелік қорғаныс құрылғыларын құруға арналған осындай датчиктер ретінде: геркондар [4; 5], Роговский катушкалары [2; 3; 6], Холл датчиктері [7] және индуктивтілік катушкалары (ИК) [8] ұсынылады. Біз геркондар мен ИК-ларын келесі себептер бойынша таңдадық: геркондар бір уақытта ток датчигінің, ток релесінің және аналогты-цифрлық түрлендіргіштің функцияларын орындай алады, ИК-сы Роговский катушкасымен салыстырғанда жоғары вольтты оқшаулауды қажет етпейді, өйткені олар геркондар сияқты қауіпсіз қашықтықта бекітілуі мүмкін. Олардың негізінде кері тізбектегі токтарды бақылайтын ток қорғанысын орындаудың бірнеше нұсқалары ұсынылған [9], бірақ жұмыс істеу сенімділігін арттыру мәселелері қарастырылмаған. Бұл жұмыста тең бүйірлі үшбұрыштың төбелерінде орналасқан фазалардың ток өткізгіштері бар ЭҚ үшін ақаулықтардың кіріктірілген диагностикасымен геркондар мен ИК-сы негізінде өлшеу органын орындау мүмкіндігі ұсынылады.

## **Материалдар мен әдістер**

Ұсынылған өлшеу органында [10] (1-сурет) 1 және 2 геркондар 3, 4 және 5, 6 орамдарымен бар. 7 және 8 күшейткіштер 3 және 5 орамдарға қосылған. 11, 12 және 13, 14 қайталама орамдары бар 9 және 10 бөлу трансформаторлары 15 және 16 бастапқы орамаларымен 7 және 8 күшейткіштерге қосылған. 9 бөлу трансформаторының 11 қайталама орамасы 17 резистор арқылы 18 және 19 шықпа қысқыштарына қосылған,

оларға 20 фазалық айналмалы сұлбасы және резистор 21 арқылы 10 бөлу трансформаторының қайталама орамасы 13 қосылған. 9 бөлу трансформаторының 12 қайталама орамасы 22 нөл индикаторға қосылған. 10 бөлу трансформаторының 14 қайталама орамасы резистор 23 арқылы 22 нөл индикаторына қосылған, оның шықпасы дабыл тізбегіне қосылған. Кернеуді реттеу блогы 24 кірістерімен тұрақты кернеудің көзіне 25, ал шықпаларымен 4 және 6 орамаларға қосылған. 1 және 2 геркондарының түйіспелері НЕМЕСЕ 26 элементінің кірісіне және үш фазалы қысқа тұйықталудан қорғаудың логикалық бөлігіне қосылған (1-суретте көрсетілмеген). 27 уақыт релесі кірісімен НЕМЕСЕ 26 элементінің шығысына, ал шығысымен дабыл тізбегіне қосылған. Геркондар үш фазалы ҚТ токтарын анықтау үшін, ал ИК кері тізбектегі токтар сүзгісін құру үшін қолданылады.



Сурет 1 – Қорғаныс құрылғысын ЖТҚ ішкі құрылымдық элементтеріне бекіту және оның элементтерін қосу сұлбасы

Геркондар 1 және 2 үшбұрыштың төбелері бойымен орналасқан А, В, С фазаларының ток өткізгіштерінің жанында, 1 герконның бойлық осі А фазасының ток өткізгішін В фазасының ток өткізгішімен және В фазасының ток өткізгішін С фазасының ток өткізгішімен қосатын сызықтар арасындағы бұрыштың биссектрисасымен сәйкес келетін, ал 2 герконның

бойлық осі В фазасының ток өткізгіштерін А фазасының ток өткізгішімен және А фазасының ток өткізгішін осы жазықтықтағы С фазасының ток өткізгішімен байланыстыратын сызықтар арасындағы бұрыштың биссектрисасымен сәйкес келетін, қауіпсіз қашықтықта орнатылады. Олардың орналасуы С фазасы мен геркондардың ауырлық центрлері арқылы өтетін 27 көлденең сызықтан ток өткізгіштерге дейінгі  $h_A^{r1} = h_B^{r1} = h_A^{r2} = h_B^{r2}$  және  $h_C^{r1} = h_C^{r2} = 0$  арақашықтықтармен, сондай-ақ А фазасының ток өткізгіші мен сызық 27 арқылы өтетін вертикальдың қиылысу 28 нүктесінен 1, 2 геркондардың ауырлық центрлеріне дейінгі  $x_1, x_2$  арақашықтықтармен және сәйкесінше сызық 27 мен геркондардың бойлық осьтері арасындағы  $\gamma_1, \gamma_2$  бұрыштарымен анықталады.  $x_1$  ( $x_2$ ) ара қашықтығы және  $\gamma_1$  ( $\gamma_2$ ) бұрышы 1 (2) герконына тек А және С (В және С) фазаларының тогымен құрылған магнит өрісі әрекет ететіндей етіп таңдалады. Мұны істеу үшін 1 герконның бойлық осі бойымен оған әсер ететін магнит өрісінің тиісті  $B_{np}$  индукциясы үшін өрнекті қарастырамыз

$$B_{np} = B_A \cos \alpha_1 + B_B \cos \alpha_2 + B_C \cos \alpha_3 = \mu_0 (g_A I_A + g_B I_B + g_C I_C) / 2\pi, \quad (1)$$

мұндағы  $B_A, B_B, B_C$  – герконды орнату жеріндегі А, В, С фазаларының токтарынан магнит өрістерінің индукциялары;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – геркон осі мен  $B_A, B_B, B_C$  арасындағы сәйкесінше бұрыштар;  $\mu_0$  – ауаның магниттік өткізгіштігі;  $I_A, I_B, I_C$  – А, В, С фазаларындағы токтар;  $g_A, g_B, g_C$  – өткізгіштегі токтан өрістің кернеулігін анықтау үшін элементарлық геометрия және Био-Савар-Лаплас заңы арқылы алынған коэффициенттер:

$$\begin{aligned} g_A &= (h_A^{r1} \cos \gamma_1 + x_1 \sin \gamma_1) / \left( (h_A^{r1})^2 + (x_1)^2 \right); \\ g_B &= (h_B^{r1} \cos \gamma_2 + (x_2 - d) \sin \gamma_2) / \left( (h_B^{r1})^2 + (x_2 - d)^2 \right); \\ g_C &= (h_C^{r1} \cos \gamma_3 + (x_2 - 0,5d) \sin \gamma_3) / \left( (h_C^{r1})^2 + (x_3 - 0,5d)^2 \right), \end{aligned} \quad (2)$$

мұндағы  $d$  – көршілес фазалардың өткізгіштері арасындағы қашықтық.

Сүзгіні құру үшін 1 (2) герконы А және С (В және С) фазаларының ток айырмасына әсер етуі керек, яғни:



$$\begin{aligned} B_{np}^{\Gamma 1} &= \mu_0 g_A^{\Gamma 1} (I_A - I_C) / 2\pi; \\ B_{np}^{\Gamma 2} &= \mu_0 g_B^{\Gamma 2} (I_B - I_C) / 2\pi; \end{aligned} \quad (3)$$

мұндағы  $B_{np}^{\Gamma 1}$  және  $B_{np}^{\Gamma 2}$  – кері тізбектегі токтарды окшаулау үшін қажет, 1 және 2 геркондардың бойлық осьтері бойындағы магниттік индукциялар. (3) формулалар (1)-ден келесі шарттарда алынады:

$$g_A^{\Gamma 1} = -g_C^{\Gamma 1}; g_B^{\Gamma 1} = 0; g_B^{\Gamma 2} = -g_C^{\Gamma 2}; g_A^{\Gamma 2} = 0. \quad (4)$$

$B_{np}$  жасайтын F ағыны геркон орамасында электр қозғаушы күш (ЭҚК) тудырады. Сондықтан геркондардың координаталарын (3)-тен табамыз.

Геркон 1 үшін, мысалы 110 кВ электр қондырғысы үшін, қарапайым геометрияны қолдана отырып және  $x_1 = -0,5$  м мен  $\gamma_1 = 30^0$  ескере отырып, А

фазасы үшін  $h_A^{\Gamma 1} = \frac{\sqrt{3}}{2}$  м,  $g_A^{\Gamma 1} = \frac{(h_A^{\Gamma 1} \cos \gamma_1 + x_1 \sin \gamma_1)}{\left( (h_A^{\Gamma 1})^2 + (x_1)^2 \right)} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 0,5 \cdot \frac{1}{2}}{0,75 + 0,25} = 0,5$  м, В фазасы

үшін  $h_B^{\Gamma 1} = \frac{\sqrt{3}}{2}$  м:  $g_B^{\Gamma 1} = \frac{(h_B^{\Gamma 1} \cos \gamma_1 + (x_1 - d) \sin \gamma_1)}{\left( (h_B^{\Gamma 1})^2 + (x_1 - d)^2 \right)} = 0$  м, С фазасы үшін

$h_C^{\Gamma 1} = 0$  м:  $g_C^{\Gamma 1} = \frac{(h_C^{\Gamma 1} \cos \gamma_1 + (x_1 - 0,5d) \sin \gamma_1)}{\left( (h_C^{\Gamma 1})^2 + (x_1 - 0,5d)^2 \right)} = -0,5$  м.

Геркон 2 үшін  $x_2 = 1,5$  м,  $\gamma_2 = -30^0$ ,  $h_A^{\Gamma 2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$  м,  $h_B^{\Gamma 2} = 0$  м,  $h_C^{\Gamma 2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

координаталарымен А фазасы үшін:  $g_A^{\Gamma 2} = \frac{(h_A^{\Gamma 2} \cos \gamma_2 + x_2 \sin \gamma_2)}{\left( (h_A^{\Gamma 2})^2 + (x_2)^2 \right)} = 0$  м. В

және С фазалары үшін коэффициенттердің мәндері аналогиялық түрде есептелінеді:  $g_B^{\Gamma 2} = 0,5$  м;  $g_C^{\Gamma 2} = -0,5$  м.

А және С фазаларының  $I_A - I_C$  токтар айырмасы магнит өрісінің  $B_{np}^{\Gamma 1} = \mu_0 g_A^{\Gamma 1} (I_A - I_C) / 2\pi = K_1 (I_A - I_C)$  индукциясын тудырады.  $\Phi^{\Gamma 1}$  магнит

ағыны геркон орамасының S көлденең ауданы арқылы  $B_{np}^{\Gamma 1}$  магниттік индукция векторының ағыны болып табылады, яғни  $\Phi^{\Gamma 1} = \int_S \overline{B_{np}^{\Gamma 1}} d\overline{S} = K_2 B_{np}^{\Gamma 1}$ .

$\Phi$  магнит ағыны 3 орамасында  $\Phi^{\Gamma 1}$  қатысты  $\pi/2$ -ге жылжытылған ЭҚК  $E^{\Gamma 1} = -d\Phi^{\Gamma 1}/dt = K_3 \Phi^{\Gamma 1}$  тудырады.  $E^{\Gamma 1}$  күшейткішпен 7 күшейтіледі және 7 күшейткішінің күшейту коэффициентімен  $K_y$  біркелкі реттелуі мүмкін. Күшейткіштің шығысында  $E_y^{\Gamma 1} = K_y E^{\Gamma 1}$ . 1 және 2 геркондарының координаталарын,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_y$  токтарды түрлендіру коэффициенттерін сәйкестендіру үшін, барлық геркондардың  $B_{np}$  шамасы бойынша сәйкес келетіндей етіп (симметриялық жүктеме режимінде) тандау керек екенін ескереміз. Демек, 9 бөлу трансформаторының 11 қайталама орамасының шықпаларында  $I_A$ - $I_C$  токтарының айырмасына пропорционалды ЭҚК бар:

$$E_7 = K_y \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 (I_A - I_C) = K_{ПАС} \cdot (I_A - I_C),$$

мұндағы  $K_{ПАС}$  – пропорционалдылық коэффициенті;  $K_4$  – резистордың 17 көмегімен реттеуді көрсететін коэффициент;  $K_5$  – бөлу трансформатордың 9 трансформация коэффициенті.

Сол сияқты 20 ФПС-тан 18 және 19 қысқыштарға ЭҚК беріледі, ол оны жасаған токқа қатысты  $2\pi/3$  бұрышына жылжытылған, яғни ( $I_B$ - $I_C$ ).

$$E_{20} = K_y \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_6 \cdot K_7 (I_B - I_C) e^{-j120} = K_{ПВС} \cdot (I_B - I_C) e^{-j120},$$

мұндағы  $K_{ПВС}$  – пропорционалдылық коэффициенті;  $K_6$  – резистордың 21 көмегімен реттеуді көрсететін коэффициент;  $K_7$  – бөлу трансформатордың 10 трансформация коэффициенті.

Резисторлардың көмегімен 9 және 10 бөлу трансформаторларының 11 және 13 қайталама орамаларының шықпаларындағы ЭҚК реттеуі қажет, өйткені ол геркондардың дұрыс орнатылмауынан және құрылғы элементтерінің параметрлерінің құжаттық параметрлерден ауытқуынан туындаған қателіктерді өтеуге мүмкіндік береді және  $K_{ПАС} = K_{ПВС}$  теңдігін қамтамасыз етеді. Осылайша, 18 және 19 шықпа қысқыштарында өлшенетін жалпы ЭҚК тең:

$$E_{\Sigma} = E_7 + E_{20} = K_{IIAC} \cdot (I_A - I_C) + K_{IIBC} \cdot (I_B - I_C) e^{-j120^\circ} =$$

$$= K_{IIAC} \cdot [(I_A - I_C) + (I_B - I_C) e^{-j120^\circ}]. \quad (5)$$

Егер фазалардың токтарында кері тізбектің құраушылары  $I_{A2}$ ,  $I_{B2}$ ,  $I_{C2}$  болса, онда оларды,  $I_{A2} = I_2 e^{j0^\circ}$ ,  $I_{B2} = I_2 e^{j120^\circ}$ ,  $I_{C2} = I_2 e^{-j120^\circ}$  түрінде, (5)-ке қойып,  $E_{\Sigma} = 3K_{IIAC} I_2 \gg 0$  аламыз. (5)-ке нөлдік тізбектегі  $I_{A0}$ ,  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$  токты қойғанда  $E_{\Sigma} = 0$ , сондықтан бұл токтар фаза бойынша сәйкес келеді. Сондай-ақ, А, В және С фазаларында тура тізбектегі ток құраушылары  $I_{A1}$ ,  $I_{B1}$ ,  $I_{C1}$  болған кезде  $E_{\Sigma} = 0$ .

### Нәтижелер және талқылау

Ұсынылған құрылғы келесідей жұмыс істейді. Жүктеме режимінде 18 және 19 қысқыштарында кернеу жоқ, өйткені фазаларда кері тізбектегі токтар ақпайды. 1 және 2 геркондары да жұмыс істемейді, өйткені олардың әсер ету индукциялары жүктеменің максималды мүмкін тогымен жасалған  $V_1$  индукциясынан орнатылады.

Үш фазалы қысқа тұйықталу (ҚТ) кезінде  $E_{\Sigma} = 0$ , ал 1 және 2 геркондары қорғаныстың логикалық бөлігіне сигналдар беру арқылы іске қосылады (1-суретте көрсетілмеген). Нәтижесінде электр қондырғысының ажыратқышы ажыратылады. Екі фазалы ҚТ кезінде  $E_{\Sigma} \gg 0$ , өйткені кері тізбектегі токтар пайда болады және егер екі фазалы қысқа тұйықталу тогымен пайда болған магнит өрісінің индукциясы  $V_{cp}$ -ге жетсе, 1 және 2 геркондары іске қосылады. Нәтижесінде электр қондырғысы өшіріледі. Егер кез келген герконның түйіспелері жабысып қалса, онда элемент НЕМЕСЕ 26 уақыт релесін 27 іске қосады, ол уақыт ұстанымы өткеннен кейін, мысалы 0,02 с, дабыл тізбегіне сигнал береді.

Үш фазалы ҚТ токтарына 1 және 2 геркондарының қажетті сезімталдығын қамтамасыз ету үшін, тұрақты кернеу 25 көзінен кернеуді реттеудің 24 блогы арқылы 4 және 6 орамаларына ток беру арқылы магниттеледі.

Ақаулық туындаған кезде, мысалы, басқару 3 орамасының тізбегінде, 22 нөл индикатордың кірісіне 9 және 10 бөлу трансформаторларының 12 және 13 орамаларының шықпаларынан түсетін, ЭҚК теңдігі бұзылады.

Сондықтан ол іске қосылады және қорғаныстың логикалық бөлігін бұғаттауға дабыл тізбегіне сигнал береді (1-суретте көрсетілмеген). 22 нөл индикаторы жалған іске қосылмауы үшін, ол электр қондырғысында үш фазалы қысқа тұйықталу кезінде пайда болатын теңгерімсіздіктің ЭҚК-нен реттеледі.

### **Қорытынды**

Ұсынылған өлшеу органы енгізу кезінде мыс, болат және жоғары вольтты оқшаулауды үнемдеуге мүмкіндік береді, өйткені ол металды қажет ететін ток трансформаторларын керек етпейді. Оның негізіндегі қорғаныс басқа белгілі қорғаныстарға қарағанда сенімді болады деп жорамалдауға негіз бар, өйткені ол ақаулықтың функционалды диагностикасымен жабдықталған.

## ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

2 **Дьяков, А. Ф., Ишкин, В.Х., Мамиконянц, Л.Г., Семенов, В.А.** XXI ғасырдың басындағы әлемнің Электр энергетикасы (СИГРЕ 39-сессия матер бойынша, Париж) // Шетелдегі Энергетика. -М.: «Энергопрогресс» Ғылыми-техникалық фирмасы ЖАҚ, 2004. - 4–5 шығ.. – 176 б.

2 **Kojović, L. A.** New Protection Schemes Based on Novel Current Sensors for Up-To-Date Grid // IET Conference Publications, 2013. – P. 10–13.

3 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

4 **Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061-6069.

5 **Teng J., Luan S., Huang W., Lee D., Huang Y.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015. – Vol. 65. – P. 357-366.

6 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, 2017. – P. 493–497.

**7 Guan-Jie Huang, Nanming Chen, Kun-Long Chen** Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016. – P. 1-5.

**8 Сирота, И. М. Шурин, В. М.** Қашықтағы датчиктері бар тізбектердегі симметриялы құраушыларының сүзгілері // Электричество, 1971. – № 11. – 26-31 б.

**9 Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov B., Issabekov, D.** New filters for symetrical current components // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2018. – Vol. 101. – P. 85-91.

**10 Клецель, М. Я., Машрапов, Б. Е., Машрапова, Г. Н.** Тең бүйірлі үшбұрыштың төбесінде орналасқан фазалардың өткізгіштері бар электр қондырғыларына арналған кері тізбектегі ток сүзгісі // Пат. 36286 ҚР МПҚ Н02Н 3/00; 30.06.2023 жарияланды.

#### REFERENCES

**1 Diakov, A. F, Ishkin, V. Kh, Mamikoniants, L. G, Semenov V. A.** Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletiaa (po mater 39-i sessii SIGRE Parizh) [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39th session of CIGRE, Paris)] // Energy Abroad. – М.: CJSC Scientific and technical firm «Energoprogress», 2004. – Issue 4–5. – 176 p.

**2 Kojović, L. A.** New Protection Schemes Based on Novel Current Sensors for Уцр-To-Date Grid // IET Conference Publications, 2013. – P. 10–13.

**3 Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

**4 Goryunov V., Kletsel M., Mashrapov B., Mussayev Zh., Talipov O.** Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts // Alexandria Engineering Journal, 2021. – Vol. 61, Issue 8 – P. 6061-6069.

**5 Teng, J., Luan S., Huang, W., Lee, D., Huang, Y.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015. – Vol. 65. – P. 357–366.

6 **Nurmansah, A. P., Hidayat, S.** Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application // 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, 2017. – P. 493-497.

7 **Guan-Jie Huang, Nanming Chen, Kun-Long Chen** Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016. – P. 1-5.

8 **Sirota I. M., Shurin V. M.** Fil'try simmetrichnykh sostavlyayushchikh v tsepyakh s distantsionnymi datchikami [Filters of symmetrical components in circuits with remote sensors] // *Elektrichestvo*, 1971. – № 11. – S. 26-31.

9 **Kletsel M., Zhantlesova A., Mayshev P., Mashrapov B., Issabekov D.** New filters for symmetrical current components // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2018. – Vol. 101. – P. 85-91.

10 **Kletsel M. Ya., Mashrapov B. E., Mashrapova R. M.** Fil'tr toka obratnoy posledovatel'nosti dlya elektroustanovok s tokoprovodami faz, raspolozhennymi po vershinam ravnostoronnego treugol'nika [Negative sequence current filter for electrical installations with phase conductors located at the vertices of an equilateral triangle] // Pat. 36286 RK IPC H02H 3/00; publ. 30/06/2023.

13.04.24 ж. баспаға түсті.

16.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды

\**Б. Е. Маурапов, М. Я. Клецель, Р. М. Маурапова*

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 13.04.24.

Поступило с исправлениями 16.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН ДЛЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ С КОНТРОЛЕМ ТОКОВ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

*Отмечено, что построение защит без использования традиционных трансформаторов тока позволяет решить одну из актуальных задач электроэнергетики. Предложен измерительный орган для токовых защит на герконах и катушках индуктивности для электроустановок с токопроводами фаз, расположенными по вершинам равностороннего треугольника. Герконы и катушки индуктивности располагаются в магнитном поле токов в токопроводах фаз электроустановки на безопасном расстоянии в плоскости их поперечного сечения. Показано, что геркон используется для выявления токов трехфазного короткого замыкания, а электродвижущая сила на выводах катушек индуктивности – для построения фильтра токов обратной последовательности. Представлены схема измерительного органа и методика определения координат установки герконов и катушек индуктивности, а также параметров элементов схемы фильтра токов обратной последовательности. Для обеспечения надежности функционирования измерительного органа он оснащен встроенной функциональной диагностикой неисправностей. Диагностика выполняется путем контроля напряжений на выводах катушек индуктивности и времени замкнутого состояния контактов герконов. Подробно рассмотрено поведение предлагаемого измерительного органа в различных режимах, а также как осуществляется диагностика, и какие неисправности выявляются в процессе ее выполнения.*

*Ключевые слова: защита, измерительный орган, геркон, катушка индуктивности, ток обратной последовательности.*

*B. E. Mashrapov, M. Ya. Kletsel, \*R. M. Mashrapova*  
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar,  
Received 13.04.24.  
Received in revised form 16.04.24.  
Accepted for publication 02.06.24.

## MEASURING ELEMENT FOR CURRENT PROTECTION WITH CONTROL OF NEGATIVE SEQUENCE CURRENTS

*It is noted that the construction of protection without the use of traditional current transformers makes it possible to solve one of the pressing problems of the electric power industry. A measuring element is proposed for current protection on reed switches and inductance coils for electrical installations with phase conductors located at the vertices of an equilateral triangle. Reed switches and inductance coils are located in the magnetic field of currents in the electrical installation phase conductors at a safe distance in the plane of their cross section. It is shown that the reed switch is used to detect three-phase short circuit currents, and the electromotive force at the terminals of the inductors is used to construct a negative sequence current filter. A diagram of the measuring element and a method for determining the installation coordinates of reed switches and inductance coils, as well as the parameters of the elements of the negative sequence current filter circuit, are presented. To ensure reliable functioning of the measuring element, it is equipped with built-in functional fault diagnostics. Diagnostics is performed by monitoring the voltages at the terminals of the inductors and the time of the closed state of the reed switch contacts. The behavior of the proposed measuring element in various modes is examined in detail, as well as how diagnostics are carried out, and what faults are identified during its implementation.*

*Keywords: protection, measuring element, reed switch, inductance coils, negative sequence current.*



SRSTI 55.55.37

<https://doi.org/10.48081/OGDW8672>

**V. P. Markovskiy<sup>1</sup>, \*S. D. \*Pushkaryov<sup>2</sup>, A. I. Ogarkova<sup>2</sup>,  
A. B. Utegulov<sup>3</sup>, I. V. Koshkin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2</sup> Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university,  
Republic of Kazakhstan, Kostanay;

<sup>3</sup> S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,  
Republic of Kazakhstan, Astana.

\*e-mail: [Medpromexport@mail.ru](mailto:Medpromexport@mail.ru)

## **DEVELOPMENT OF A CONJUGATE ANALYSIS METHOD FOR THE EFFECTIVE USE OF HEAT PUMPS IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF KOSTANAY REGION**

*The article discusses the issues of effective use of heat pumps in the northern region of Kazakhstan, Kostanay region. The purpose of this article is to study the physical and technological characteristics of various types of refrigerants for the effective use of heat pumps in the climatic conditions of Northern Kazakhstan, using the «Water – Water» coolant system, taking into account the external and internal parameters of the system's interaction. An analysis of the estimated climatic and soil characteristics of the Kostanay region was carried out, and priority methods for designing heat pump systems were determined. The results of a computational experiment performed on the basis of a model and a developed algorithm for the conjugate calculation of the Water-Water heat pump system are presented, taking into account external and internal factors affecting the system. As a result of the research, it turned out that the efficiency of a heat pump when installed in the Kostanay region depends on internal (thermodynamic parameters of the installation system and refrigerant characteristics) and external (temperature*

*characteristics of the external environment). and groundwater, operating conditions of the installation, depth of water resources, etc.) factors.*

*The thermodynamic cycle of a heat pump has been determined depending on the refrigerant pressure  $P$  and refrigerant enthalpy  $h$ , heat conversion coefficients and their changes when the pump reaches its nominal operating mode. It has been proven that the best thermodynamic characteristics for the design and climatic conditions of the Kostanay region with internal influencing factors is the use of R513A refrigerant. The obtained research data can be used as the basis for calculating a joint analysis of the heat balance of rooms with heating equipment and technologies based on the use of heat pumps of the «Water-Water» system for the Kostanay region.*

*Keywords: heat pump, climate, ecology, renewable energy sources, heating of buildings. heat supply, enthalpy, thermodynamics.*

## **Introduction**

With a significant increase in thermal energy consumption in Kazakhstan, there is high wear and tear on the equipment of existing thermal power plants, boiler houses and heating networks, the modernization and repair of which, due to changes in consumer tariffs, cannot fully ensure their uninterrupted operation. operation [1]. Therefore, several options are proposed for overcoming the crisis with uninterrupted heat supply in winter - this is attracting additional investments with subsequent updating of heating equipment or a systematic partial transition to renewable energy sources, in particular, to heat pumps [2].

To form an effective method for determining the parameters of a heat pump based on the thermodynamic and soil-climatic characteristics of the Kostanay region [3], many scientific works were studied. Thus, in a scientific article [4], the authors propose an interesting method of accumulating heat at night with subsequent release of heat by bypassing hot gas by changing the rotation speed of the outdoor unit fan during daylight hours.

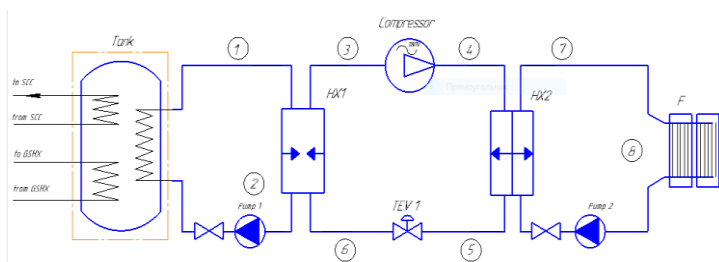
Also, in scientific work [5], an effective method was developed to bypass hot gas in a heat pump installation of an air-to-air system by changing the rotation speed of the outdoor unit fan. A similar method was proposed by the authors in article [6]. The use of a large array of data to control and regulate the thermodynamic cycles of a heat pump is proposed in the articles of the authors

[7;8]. Changes in design parameters when directly using heat pumps in various industries are presented in articles [9;10;11].

### Materials and methods

To study the thermodynamic parameters of the refrigerant when designing a prototype of a ground heat pump with a vertical ground heat exchanger, a modeling method was used with a description of mathematical and computer algorithms of action.

To test various modes of operation of the ground source heat pump according to the «Water – Water» scheme, the licensed software «Engineering Equation Solver (EES)» was used. Figure 1 shows an image of a heat pump of the "Groundwater - Water" system in the room heating mode, which was isolated from the general diagram. When carrying out calculations, the following input data are indicated: water temperature in the tank  $+5^{\circ}\text{C}$ , temperature of the heating circuit in the fan coil  $+40^{\circ}\text{C}$ .



Tank – reservoir; Fan coil (F) – heating / air conditioning system; HX1 – evaporator; HX2 – capacitor; Pump – pumps; TEV1 – valve (shut-off valve); Compressor – heat pump.

Figure 1 – Component of the heat pump model of the «Water-Water» system

In general, the heat pump installation system is divided into circuits [12]: circuit 1 – heat source supply system 1-HX1; Circuit 2 – heat absorption system with evaporation circuit pump; Circuit 3 – compression of the coolant and gas supply from the evaporator to the HX1-Cmpr compressor; 4th circuit – compression of the coolant when gas is supplied to the Cmpr-HX2 condenser; Circuit 5 – branch of the chain of the process of thermal expansion and supply of coolant with excess pressure to the throttle valve; Circuit 6 – branch of the

pressure relief circuit; 7th circuit – condensate supply system to the HX2-F heating system; Circuit 8 – heating system.

For the design and climatic conditions of the Kostanay region, six refrigerants were identified [13], the characteristics of which are presented in Table 1.

Table 1 – Refrigerants and their physical and environmental characteristics

Refrigerant	Molecular mass	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Boiling point (°C)	ASHRAE Code	ODP R11 = 1	GWP 100 year
R-22	52,03	78,2	5,72	-51,7	A1	-	550,0
R-142	100,50	136,45	4,15	-26,5	A1	-	1410,0
R-500	93,48	80,0	4,88	-46,1	A1	-	1890,0
R-502	97,6	62,0	4,07	-46,3	A1	0,34	3750,0
R-152	44,1	96,7	4,52	-42,2	A3	-	20,0
R-513A	109,0	104,4	4,06	-23,1	A1	-	547

In the table, the parameters GWP is a coefficient that determines the degree of impact of various greenhouse gases on global warming, the ASHRAE parameter is a safety classification code and ODP R11 (Dichlorofluoromethane) is ozone depletion potential.

The mathematical model used to determine the thermal performance of the Water-Water heat pump is based on the following assumptions:

- A stationary process is assumed throughout the system;
- pressure losses in the suction and discharge areas are neglected;
- the mechanical efficiency of the compressor is assumed to be 95 %, and the isothermal efficiency is 80-85 %.
- it is assumed that there is 1-2 °C subcooling in the condenser, and 1-2 °C overheating in the evaporator;
- for heat exchangers, the «Closest Approach Temperature» parameter is set to 3;

- mass flow is considered constant at each stage of the thermodynamic work cycle.

The characteristics of the system with given parameters are calculated. According to the presented conditions, a mathematical algorithm has been developed for determining the parameters of a heat pump installation when operating in the climatic conditions of the Kostanay region. In this case, the first parameter, the thermal power in the «Cmpr-HX2-F» circuit of the model in Figure 1, can be estimated using the following formula [14]:

$$Q_{hx2} = m_r \cdot (\Delta h_5 - \Delta h_4) \quad (1)$$

where:  $\Delta h_4, \Delta h_5$  – input and output enthalpy of the capacitor (heat exchanger 2 – HX 2, kJ).

$m_r$  – mass flow rate of liquid, kg

The electrical energy consumption of the compressor, as well as the energy transferred to the refrigerant by the compressor, is the second most important indicator in the mathematical model, and is assessed using the following relationships [14]:

$$N_{cmpr} = \frac{m_r \cdot (h_4 - h_3)}{\eta_t \cdot \eta_{mch}} \quad (2)$$

$$W_{cmpr} = m_r \cdot (\Delta h_4 - \Delta h_3) \quad (3)$$

where:  $\Delta h_3, \Delta h_4$  – enthalpy of the refrigerant at the inlet and outlet of the compressor (kJ),

$\eta_t, \eta_{mch}$  – isothermal and mechanical efficiency of the compressor (%).

The transformation coefficient  $COP_{el}$  and the coefficient of the installation system  $COPS_{el}$  are determined by the expressions [12;14]:

$$COP = \frac{Q_{hx2}}{W_{cmpr}} \quad (4)$$

$$COP_{el} = \frac{Q_{hx2}}{N_{cmpr}} \quad (5)$$

$$COPS_{el} = \frac{Q_{hx2}}{N_{tot}} \quad (6)$$

where:  $N_{tot}$  is the total amount of electrical energy consumed by the HPI installation, kW (circulation pumps, compressor, etc.).

Heat collection by the heat exchanger (evaporator) of the «1-HX1» circuit of the model in Figure 1 is determined by:

$$Q_{1-HX1} = m_{r0} \cdot (h_3 - h_6) \quad (7)$$

where:  $h_3, h_6$  is the enthalpy of the refrigerant at the inlet and outlet of the evaporator of the 1-HX1-Cmpr” circuit, kJ.

As a result, it is necessary to calculate the Energy Balance equation, while the indicator of absorbed heat from the heat source of the “Water-Water” system should be considered as the boundary condition:

$$Q_{w-w} = Q_b + \Delta Q_a + W_{cmpr} \quad (8)$$

where:  $Q_{w-w}$  – absorbed heat from a source (ground water, underground river);

$Q_b$  – heat that is transferred from the refrigerator to the building or structure (heat from the condenser);

$\Delta Q_a$  – heat loss from the installation to the atmosphere;

$W_{cmpr}$  – heat pump compressor operation.

As a result of the developed mathematical algorithm for a given model of the heat pump of the “Water-Water” system, further studies of the operating modes of the system are determined taking into account external characteristics: soil and climatic conditions of the Kostanay region, and internal characteristics: physical and thermal properties of various refrigerants that are most effective for climatic conditions. conditions of the city of Kostanay (northern region of Kazakhstan).

### Results and discussion

The conditions for choosing the power of the heat pump compressor are given for the climatic conditions of the city of Kostanay, with the following external characteristics of the heat pump system:

average outdoor temperature in winter  $t_{oa} = -18 \dots -20^{\circ}C$ , heat pump start temperature at  $8^{\circ}C$ ;

depth of groundwater is 2...5 meters with the temperature of groundwater entering the evaporator  $t_{w1} = 3 \dots 11^{\circ}\text{C}$ , and at its outlet  $t_{w2} = 1 \dots 8^{\circ}\text{C}$ ; average heated room area – 50 m<sup>2</sup> with sectional radiators.

Internal characteristics of the system:

temperature graph of the heating system 95÷55<sup>0</sup>C, with a cut-off temperature 40÷80<sup>0</sup>C

electromechanical efficiency of the compressor  $\eta_{\text{mech}} = 0.9 \dots 0.95$ , isothermal efficiency on average  $\eta_i = 0.5 \dots 0.65$ ;

the estimated heat load of the HPP is  $Q_{\text{th}} = 1.4 \text{ kW}$ .

Figure 2 shows a schematic illustration of the calculation results for the R-513A refrigerant, using the formulas of the method (1)-(5).

As a result of using the mathematical model algorithm, the coefficient of performance (COP) values of the heat pump were obtained. The system COP was also calculated, taking into account the energy costs of the circulation pumps and compressor, which turned out to be 30% lower than  $\text{COP}_{\text{cpr}}$ . For a visual representation of heat pump cycles, a p-h diagram was constructed, depending on the refrigerant proposed for use, as well as to determine the properties of the substance at a given point in the cycle. Moreover, it is necessary to take into account all the parameters and values of the critical upper point of the diagram, the range of refrigerant in the liquid phase of the system, in the vapor-liquid phase and also in the superheated vapor phase.

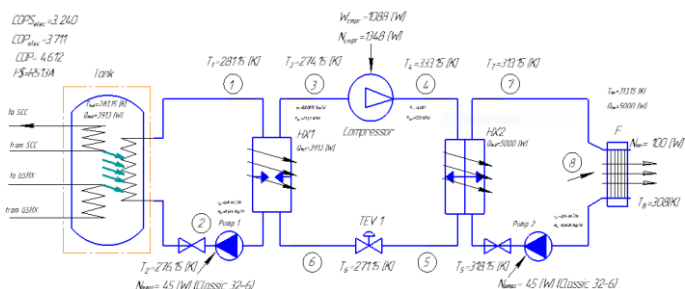
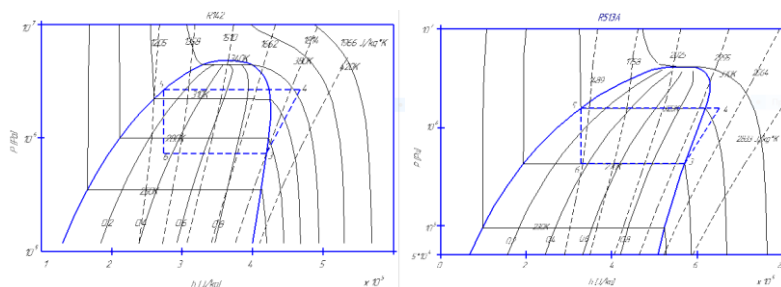


Figure 2 – Model of a heat pump system taking into account all internal thermodynamic parameters using the example of using R513A refrigerant

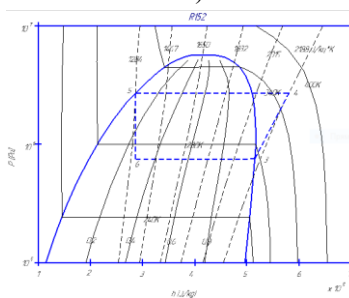
To analyze the phase composition and concentration of dissolved refrigerant compounds, only three refrigerants were selected: R-142, R-152 and R-513A.

These ozone-safe refrigerants have the most suitable characteristics for their use in the climatic conditions of the Kostanay region. Figure 3 shows the results of calculations and plotting of P-h diagrams. Analysis of the diagrams shows that the process of refrigerant evaporation due to the supply of heat from the cooled medium of the “Water-Water” system is most acceptable in terms of specific enthalpy for R513A, and is 3.1-6.2 (kJ/kg) at a constant pressure of 18.4 mPa. During the process of isobaric condensation (section 3-5) and heat transfer to the heating system, the R513A refrigerant also has the most optimal characteristics. The flow of a mixture of liquid and vapor into the evaporator (point 6) is better in terms of indicators for R152, but the enthalpy level is more effective for R513A, and is constant 3.1 kJ/kg.

Figure 4 shows some calculated coefficient of performance (COP) and compressor compression ratio data for the specified refrigerants. According to the calculation results, refrigerants R142, R500 and R513A demonstrate high COP values. However, R152 is a flammable gas, and its use in heat pumps is recommended in small quantities, that is, for low-power HPs.



b)



c)

a) R142 refrigerant, b) R513A refrigerant c) R152 refrigerant



Figure 3 – Results of the P-h diagram for the heat pump of the “Water-Water” system

According to Figure 4, R502 refrigerant has a low COP of 2.48 and the highest COP has R500 of 3.46. Under different conditions, an analysis of the global warming potential (GWP) was carried out, where the highest refrigerant was R500 with a value of 3750.

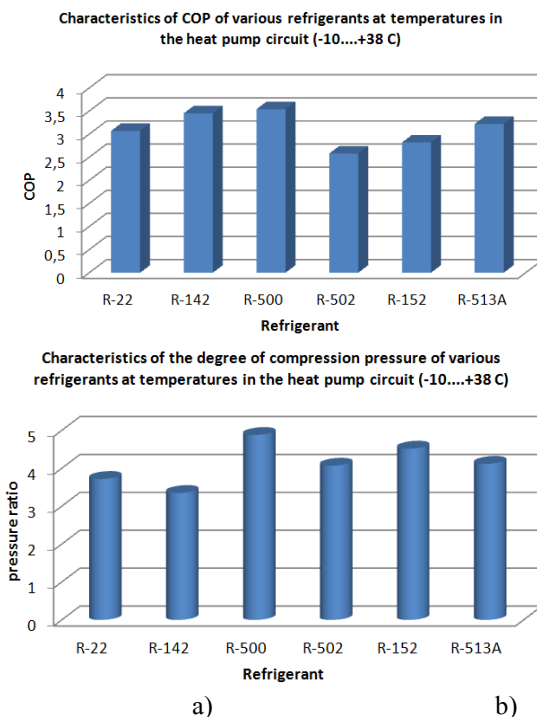


Figure 4 – Conversion coefficient for various refrigerants in the temperature range from +5<sup>0</sup>C in the tank to +40<sup>0</sup>C in the heating circuit

At the same time, the refrigerant R513A has a lower GWP of 690, and this refrigerant belongs to the 4th generation and meets the requirements Paris Protocol. The theoretical compression ratio (pressure ratio) of the compressor for all considered refrigerants, according to calculated data, does not exceed 5:1, which is acceptable for the system.

The diagrams show that as the refrigerant temperature in the storage tank increases at a fixed heating circuit temperature of  $+40^{\circ}\text{C}$ , the coefficient of performance (COP) increases and the compressor load decreases. On the other hand, when the temperature of the working fluid in the fan coil increases at a fixed tank temperature of  $+5^{\circ}\text{C}$ , the COP coefficient decreases and the compressor compression ratio increases.

### **Conclusion**

The article presents the results of a computational experiment performed on the basis of a model and a developed algorithm for the conjugate calculation of the «Water-Water» heat pump system in relation to the soil and climatic conditions of the Kostanay region and the energy characteristics of the heat pump refrigerants. As a result of the study, the following conclusions were made: The efficiency of the heat pump depends on internal (thermodynamic parameters of the installation system and characteristics of the refrigerant) and external (temperature characteristics of the external environment and groundwater, operating conditions of the installation, depth of water resources, etc.) factors; as a result of the study, the thermodynamic cycle of the heat pump was determined depending on the refrigerant pressure  $P$  and refrigerant enthalpy  $h$ , heat conversion coefficients and their changes when the pump reaches its nominal operating mode; it has been proven that the best thermodynamic characteristics for the structural and climatic conditions of the Kostanay region with internal influencing factors is the use of R513A refrigerant; changes in the temperature of the low-grade heat source (ground and underground water) during the heating season have a significant impact on the characteristics of the heat pump, while its heating capacity changes approximately twice in inverse proportion to the heat demand.

### **REFERENCES**

1 О поддержке использования возобновляемых источников энергии. Закон Республики Казахстан от 4 июля 2009 года № 165-IV (с [изменениями и дополнениями](#) по состоянию на 01.07.2023 г.) Астана. [Электронный ресурс]. – URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30445263&pos=3;-106#pos=3;-106](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30445263&pos=3;-106#pos=3;-106).

2 Агроклиматические ресурсы Костанайской области: научно-прикладной справочник. ТОО «Институт Географии», при Министерстве образования и науки Республики Казахстан, под редакцией Байшолоанов С.С. [Электронный ресурс]. Астана. 2017. – 139С. ISBN 978-601-7150-86-0.

3 Национальная гидрометеорологическая служба Казахстана. Климат Казахстана по областям. Костанайская область. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazahstana-po-oblastyam>.

4 **Kim, D., Jung, W., Chang, Y.S.** et al. Heating performance analysis of the region control method for heat pump with thermal storage system. J Mech Sci Technol 31 – 5569–5579. – (2017). – <https://doi.org/10.1007/s12206-017-1051-y>.

5 **Lee, J., Byun, JS.** Experiment on the performance improvement of air-to-air heat pump adopting the hot gas bypass method by outdoor fan speed variation. // J Mech Sci Technol 23. – 3407–3415. – (2019). <https://doi.org/10.1007/s12206-009-1013-0>.

6 **Long, J., Huang, S.** (2014). Study on Energy Efficiency Evaluation Method of Cooling Water System of Surface Water Source Heat Pump. In: Li, A., Zhu, Y., Li, Y. (eds) // Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 262. Springer, Berlin, Heidelberg. – [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9_34).

7 **Zheng, Y., Wang, G., Feng, G., Kang, Z.** (2020). Modeling Method of Heat Pump System Based on Recurrent Neural Network. In: Wang, Z., Zhu, Y., Wang, F., Wang, P., Shen, C., Liu, J. (eds) // Proceedings of the 11th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC 2019). ISHVAC 2019. Environmental Science and Engineering(). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9524-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9524-6_4).

8 **hao, B.** Temperature field analysis of underground water source heat pump based on surfacelet finite element method. // J Therm Anal Calorim 122, 843–850 (2015). // <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4816-5>.

9 **Feng, G., Zhang, J., Hao, H., Li, Y.** (2014). The Complementary Heating Energy Ratio Research of Solar: Ground Source Heat Pump and Heating Network in Cold Regions. In: Li, A., Zhu, Y., Li, Y. (eds) // Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning.

Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol 262. – Springer, Berlin, Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9\\_74](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9_74).

10 **Amoabeng, K. O., Lee, K. H. & Choi, J. M.** Performance investigation of a novel calorimeter for a heat pump system according to flow loops. *J Mech Sci Technol* 34. 1749–1763. 2020. – <https://doi.org/10.1007/s12206-020-0337-7>.

11 **Shigeoki, M., Kazuya, S. & Kenji, I.** Development of low-cost evaluation method for coefficient of performance of heat pump for heating greenhouses. *Environ Dev Sustain* 22 – 6877–6890 (2020).  
<https://doi.org/10.1007/s10668-019-00518-x>.

12 **Амерханов, Р. А.** Тепловые насосы. / Р. А. Амерханов, М. : Энергоатомиздат, 2015. – 160 с., ил.

13 **Make, V, Ekkert, G.-YU. , Koshpen ZH.-L.** Uchebnik po holodil'noj tekhnike [Refrigeration Textbook] / V. Make, G.-YU. Ekkert, ZH.-L. Koshpen. Translation from French by Doctor of Technical Sciences V. B. Sapozhnikov. M., 2018. – 1142 p.

14 **Куашинг Фолькер.** Системы возобновляемых источников энергии. Технология - Расчеты – Моделирование. Ф. Каушинг. Учебник / Пер. с немецкого. – Астана, 2018. — 432 с.: 280 цв. ил., 113 табл. — ISBN: 978-601-302-032-7.

## REFERENCES

1 Jańartylatyn energıa kózderin paidalanýdy qoldaý týraly. Qazaqstan Respýblikasynyń 2009 jylǵy 4 shildedegi № 165-IV Zańy (01.07.2023 j. jaǵdaı boıynsha ózgeristermen jáne tolyqtyrýlarmen) [On supporting the use of renewable energy sources. Law of the Republic of Kazakhstan dated July 4, 2009 No. 165-IV (with amendments and additions as of July 1, 2023)] [Electronic resource]. Astana. URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30445263&pos=3;-106#pos=3;-106](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30445263&pos=3;-106#pos=3;-106).

2 Qostanaı oblysynyń agroklimattyq resýrstary: ǵylymı-qoldanbaly anyqtamalyq. Qazaqstan Respýblikasy Bilim jáne ǵylym ministrліgi janyndaǵy "Geografıa institúty" JSHS, redaksıalaǵan Baısholanov S. S. [Agroclimatic resources of the Kostanay region: scientific and applied reference book. Institute

of Geography LLP, under the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, edited by Baisholanov S. S.] [Electronic resource]. Astana. 2017. – 139С. ISBN 978-601-7150-86-0.

3 Qazaqstannyń ulttyq gidrometeorologialyq qyzmeti. Oblystar boıynsha Qazaqstannyń klımaty. Qostanaı oblysy. [National Hydrometeorological Service of Kazakhstan. Climate of Kazakhstan by region. Kostanay region]. [Electronic resource]. – <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazahstana-po-oblastyam>.

4 **Kim, D., Jung, W., Chang, Y.S.** et al. Heating performance analysis of the region control method for heat pump with thermal storage system. J Mech Sci Technol 31. 5569–5579. 2017. – <https://doi.org/10.1007/s12206-017-1051-y>

5 **Lee, J., Byun, JS.** Experiment on the performance improvement of air-to-air heat pump adopting the hot gas bypass method by outdoor fan speed variation. J Mech Sci Technol 23. 3407–3415. – (2019). – <https://doi.org/10.1007/s12206-009-1013-0>.

6 **Long, J., Huang, S.** (2014). Study on Energy Efficiency Evaluation Method of Cooling Water System of Surface Water Source Heat Pump. In: Li, A., Zhu, Y., Li, Y. (eds) Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 262. Springer, Berlin, Heidelberg.– [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9_34).

7 **Zheng, Y., Wang, G., Feng, G., Kang, Z.** (2020). Modeling Method of Heat Pump System Based on Recurrent Neural Network. In: Wang, Z., Zhu, Y., Wang, F., Wang, P., Shen, C., Liu, J. (eds) Proceedings of the 11th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC 2019). ISHVAC 2019. Environmental Science and Engineering(). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9524-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9524-6_4).

8 **Zhao, B.** Temperature field analysis of underground water source heat pump based on surfacelet finite element method. J Therm Anal Calorim 122. 843–850 (2015). – <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4816-5>.

9 **Feng, G., Zhang, J., Hao, H., Li, Y.** (2014). The Complementary Heating Energy Ratio Research of Solar: Ground Source Heat Pump and Heating Network in Cold Regions. In: Li, A., Zhu, Y., Li, Y. (eds) // Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning.

Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol 262. – Springer, Berlin, Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9\\_74](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39581-9_74).

10 **Amoabeng, K. O., Lee, K. H. & Choi, J. M.** Performance investigation of a novel calorimeter for a heat pump system according to flow loops. // J Mech Sci Technol 34. 1749–1763 2020. – <https://doi.org/10.1007/s12206-020-0337-7>.

Shigeoki, M., Kazuya, S. & Kenji, I. Development of low-cost evaluation method for coefficient of performance of heat pump for heating greenhouses. // Environ Dev Sustain 22. – 6877–6890. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00518-x>.

11 **Amerkhanov, R. A.** жылы сорғылары [Heat pumps]. / R. A. Amerkhanov, Moscow : Energoatomizdat, 2015. – 160 p., ill.

12 **Make, V, Ekkert, G.-YU. , Koshpen ZH.-L.** Uchebnik po holodil'noj tekhnike [Refrigeration Textbook] / V. Make, G.-YU. Ekkert, ZH.-L. Koshpen. Translation from French by Doctor of Technical Sciences V. B. Sapozhnikov. M., 2018. – 1142 p.

13 **Kyashning, F.** Jańartylatyn energıa júeleri. Tehnologıa-Esepteý-Modeldeý. [Renewable energy systems. Technology – Calculations – Modeling]. F. Cushing. Textbook / Transl. from German. – Astana, 2018. – 432 P.: 280 colors. ill., 113 tab. – ISBN: 978-601-302-032-7.

Received 15.02.24

Received in revised form 22.02.24.

Accepted for publication 02.06.24.

*В. П. Марковский<sup>1</sup>, \*С. Д. Пушкарев<sup>2</sup>, А. И. Огаркова<sup>2</sup>, А. Б. Өтеғұлов<sup>3</sup>,  
И. В. Кошкин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

<sup>2</sup>Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.;

<sup>3</sup>С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

15.02.24 ж. баспаға түсті.

22.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ЖЫЛУ СОРҒЫЛАРЫН ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ ҮШІН КОНЬЮГАТТЫҚ ТАЛДАУ ӘДІСІН ЖАСАУ**

*Мақалада Қазақстанның солтүстік өңірінде, Қостанай облысында жылу сорғыларын тиімді пайдалану мәселелері қарастырылған. Бұл мақаланың мақсаты Солтүстік Қазақстанның климаттық жағдайында жылу сорғыларын тиімді пайдалану үшін «Су – Су» салқындатқыш жүйесін пайдалана отырып, сыртқы және ішкі салқындатқыш агенттердің физикалық және технологиялық сипаттамаларын зерттеу болып табылады. жүйенің өзара әрекеттесуінің параметрлері. Қостанай облысының есептік климаттық және топырақ ерекшеліктеріне талдау жүргізілді, жылу сорғы жүйелерін жобалаудың басым әдістері анықталды. Жүйеге әсер ететін сыртқы және ішкі факторларды ескере отырып, «Су-Су» жылу сорғысы жүйесінің коньюгаттық есептеуінің моделі мен әзірленген алгоритмі негізінде орындалған есептеу экспериментінің нәтижелері берілген. Зерттеу нәтижесінде Қостанай облысында орнатылған жылу сорғысының тиімділігі ішкі (қондыру жүйесінің термодинамикалық параметрлері және салқындатқыштың сипаттамалары) және сыртқы (сыртқы ортаның температуралық сипаттамалары) тәуелді екендігі анықталды.*

және жер асты сулары, қондырғының жұмыс жағдайлары, су ресурстарының тереңдігі және т.б.) факторлар.

Жылу сорғысының термодинамикалық циклі хладагенттің қысымы  $P$  және хладагенттің энтальпиясы  $h$ , жылу түрлендіру коэффициенттері және олардың сорғының номиналды жұмыс режиміне жеткендегі өзгеруіне байланысты анықталды. Ішкі әсер етуші факторлары бар Қостанай облысының конструктивтік және климаттық жағдайлары үшін ең жақсы термодинамикалық сипаттамалар R513A хладагентін пайдалану болып табылатыны дәлелденді. Алынған зерттеу деректері Қостанай облысы үшін «Су-Су» жүйесінің жылу сорғыларын пайдалануға негізделген жылыту жабдығы мен технологиялары бар үй-жайлардың жылу балансын біріктірілген талдауды есептеу үшін негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін.

*Кілтті сөздер:* жылу сорғысы, климат, экология, жаңартылатын энергия көздері, ғимараттарды жылыту. жылумен қамтамасыз ету, энтальпия, термодинамика.



*В. П. Марковский<sup>1</sup>, \*С. Д. Пушкарев<sup>2</sup>, А. И. Огаркова<sup>2</sup>, А. Б. Утегулов<sup>3</sup>,  
И. В. Кошкин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Университет имени С. Торайгырова, Республика Казахстан, Павлодар;

<sup>2</sup>Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынулы, Республика Казахстан, г. Костанай;

<sup>3</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 15.02.24.

Поступило с исправлениями 22.02.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОПРЯЖЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

*В статье рассматриваются вопросы эффективного использования тепловых насосов в условиях северного региона Казахстана Костанайской области. Целью данной статьи заключается исследование физико-технологических характеристик различных видов хладагентов для эффективного использования тепловых насосов в климатических условиях Северного Казахстана, по системе теплоносителя «Вода – Вода» с учетом внешних и внутренних параметров взаимодействия системы. Проведен анализ расчетно-климатических и почвенных особенностей Костанайской области, определены приоритетные методы для проектирования теплонасосных систем. Представлены результаты вычислительного эксперимента, выполненные на основе модели и разработанного алгоритма сопряженного расчета теплонасосной системы «Вода-Вода» с учетом внешних и внутренних факторов влияния на систему. В результате исследований выяснилось, что эффективность теплового насоса при установке в Костанайском регионе, зависит от внутренних (термодинамических параметров системы установки и характеристики хладагента) и внешних (температурных особенностей внешней среды и подземных вод,*

*условия эксплуатации установки, глубины залегания водных ресурсов и др.) факторов.*

*Определены термодинамический цикл теплового насоса в зависимости от давления хладагента  $P$  и энтальпии хладагента  $h$ , коэффициенты трансформации теплоты и их изменение в процессе выхода насоса на номинальный режим работы. Доказано, что наилучшими термодинамическими характеристиками для расчетно-климатических условий Костанайской области при внутренних влияющих факторах, является использование хладагента R513A. Полученные данные исследований могут быть положены в основу методики расчета сопряженного анализа теплового баланса помещений с отопительным оборудованием и технологиями, основанными на применении тепловых насосов системы «Вода-Вода» для Костанайской области.*

*Ключевые слова: тепловой насос, климат, экология, возобновляемые источники энергии, отопление зданий, теплоснабжение, энтальпия, термодинамика.*

МРНТИ 44.31.29

<https://doi.org/10.48081/TYPA3462>

**А. К. Мергалимова<sup>1</sup>, А. В. Атякшева<sup>1</sup>,  
\*М. Б. Айтмагамбетова<sup>1</sup>, Н. К. Сейтжаппаров<sup>2</sup>,  
А. Н. Жолдыбаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>КазАТИУ имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup>ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

\*e-mail: [aity.mb@yandex.kz](mailto:aity.mb@yandex.kz)

## **К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ЧИСТОЙ УГОЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГАЗОВ И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО СЖИЖЕНИЯ**

*Исследования проведенные на низкометаморфозных казахстанских углях, таких как месторождения «Восточный плат – 2» и «Богенбай – Жила», позволили определить оптимальные температурные диапазоны выделения различных газов, таких как циклогексан, метан и водород. Эти газы являются наиболее эффективными фрагментами для последующего сжижения. Особенно стоит отметить, что фюзинитовые и низкометаморфозные угли обладают высоким выходом углеводородных и водородных компонентов, что делает их привлекательными для технологии прямого сжигания с последующим сжижением. Кроме того, эти исследования могут привести к разработке более эффективных и экологически чистых технологий использования природных ресурсов. Учитывая ограниченность традиционных источников энергии и растущий спрос на альтернативные источники, такие как уголь, основанные на этих данных технологии могут сыграть ключевую роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития. Использование газовых фрагментов для сжижения может способствовать сокращению выбросов парниковых газов и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Эти*

*результаты исследований имеют важное значение для дальнейших разработок и конструирования устройств по термическому нагреву коксовых углей с низкой степенью метаморфизма, с целью выделения летучих горючих газов и их последующего сжижения.*

*Ключевые слова: сжижение, летучие топливные газы, термический нагрев, термическая деструкция, углеводородный фрагмент, метаморфтизм.*

## **Введение**

Сегодня Казахстан входит в первую десятку стран мира по запасам угля, которые достигают более 29,4 млрд. тонн. В то же время два процента из трех добываемых углей имеют низкое качество [1]. Прямое сжигание таких углей влечет за собой применение энергозатратных технологий с достаточной экологической нагрузкой [2, с.189].

В то же время, государственные задачи в соответствии с документами «Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года», Законом Республики Казахстан «О ратификации Парижского соглашения» и Национальным проектом «Зеленый Казахстан» это создание технологий сжигания с низким уровнем выбросов и повышение энергоэффективности энергогенерирующего оборудования. При такой ситуации использования низкокачественных углей в рамках развития чистой угольной технологии на основе термического нагрева с возможностью последующего сжижения полученных топливных газов является перспективным.

## **Материалы и методы**

Углеводороды играют значительную роль не только в энергетической системе, но и в других секторах экономики. Они могут служить газообразным и жидким топливом для установок генерации теплоты и энергии, обеспечивать химические технологии, медицинские при получении фармацевтических препаратов и пищевой промышленности для производства добавок и консервантов [3, с. 5225]. Углеводороды, получаемые из нефти, требуют дополнительной сепарации, так как существуют в виде углеводородных смесей, не всегда пригодных для прямого использования. Вопрос термической обработки казахстанских углей на сегодняшний день исследуются достаточно широко [4, с.118].

Процесс термической обработки казахстанских углей представляет собой сложный технологический процесс, направленный на получение летучих компонентов из угольного сырья. В этом процессе используется термическое разложение органических веществ, содержащихся в угле, при высоких температурах без доступа кислорода.

Сначала угольное сырье загружается в специальную камеру или реактор, где подвергается нагреванию до определенной температуры. Под воздействием высоких температур происходит разложение органических соединений, содержащихся в угольном сырье.

В результате термической обработки происходит выделение летучих компонентов, таких как циклогексан, метан, водород и другие углеводороды. Эти компоненты выходят из угольного сырья в виде газов и могут быть собраны для последующего использования.

Процесс термической обработки казахстанских углей имеет значительное значение для промышленности, так как позволяет эффективно использовать низкометаморфозные угли и получать ценные газовые компоненты. Кроме того, этот процесс может быть важным этапом в разработке чистых технологий сжигания угля с минимальным воздействием на окружающую среду.

При этом, исследования направлены не только на повышение эффективности углей, но и на возможность более широкого спектра применения, а именно для замены высококалорийного топлива на получаемые топливные газы, включающие углеводородные компоненты [5, с.189].

Более того, показано, что разные угли дают различный эффект и как представлено в [6, с.59], Казахстан является одним из крупнейших обладателей угля в мире и уголь в настоящее время составляет более 50 % выработки тепловой и электрической энергии в Казахстане. Все вышеуказанное показывает на необходимость проведения исследований по возможности определения качественных и количественных показателей и характеристик казахстанских низкокачественных углей с целью повышения экологических и экономических показателей его использования.

Предлагаемая технология предполагает получение целевых углеводородов путем их выделения при термическом нагреве угля, в результате деструкции его структуры [7, с.4]. Результаты настоящего

исследования представляют компонентный состав углеводородных фрагментов, полученных при экспериментально-лабораторных исследованиях.

Исследования проводились на установке термического нагрева (рисунок 1), специально разработанной для этой цели. Установка позволяла контролировать температуру внутри реакционной камеры в диапазоне до 800 °С и поддерживать среду без доступа воздуха, что обеспечивало условия для термического разложения углеродных материалов без их окисления.

Процесс исследования включал в себя анализ компонентного состава углеводородных фрагментов, полученных в результате деструкции структуры угля при различных температурах. Особое внимание уделялось фрагментам углеводородов с числом углеродных атомов от C<sub>1</sub> до C<sub>6</sub>, а также выделению водорода в процессе термического нагрева.

Для исследований использовались образцы угля с низкой степенью метаморфизма: коксовый низкометаморфозный уголь месторождения «Восточный пласт – 2» с содержанием влажности в воздушно-сухом состоянии ( $V^{\text{daf}}=26,1\%$ ), а также коксовый фюзинитовый уголь месторождения «Богенбай – Жила» с  $V^{\text{daf}}=18,6\%$ . Эти образцы были выбраны для того, чтобы изучить влияние содержания влаги и других факторов на процесс выделения углеводородов при термическом нагреве.

Постоянный мониторинг процесса позволил получить данные о динамике образования углеводородных фрагментов и водорода в зависимости от изменения температуры. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации процесса получения целевых углеводородов из угля с целью повышения его эффективности и экономической выгоды.

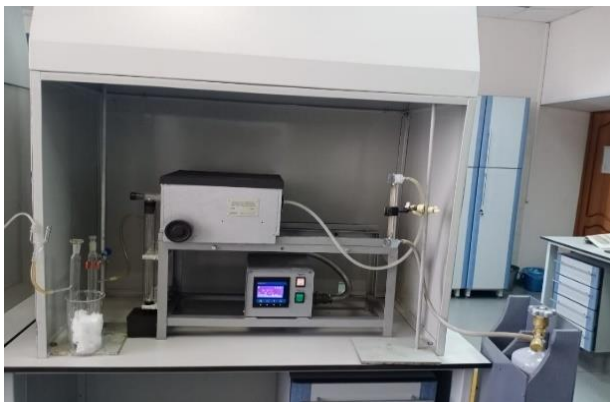


Рисунок 1 – Внешний вид установки термического нагрева углей

Образцы угля предварительно высушивались до постоянной массы при температуре  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  и измельчались до степени не более  $200\text{ }\mu\text{m}$ . Выход углеводородных продуктов и водорода регистрировался с помощью масс-спектрометра газов SRS QMS 300. Данные по выходу углеводородных компонентов собирались непрерывно с откликом анализатора  $0,5$  секунды.

Дополнительно, перед проведением эксперимента был проведен анализ фоновго состава воздуха с целью выявления и учета примесей, которые могли бы повлиять на результаты исследования. Это важно для обеспечения чистоты эксперимента и достоверности получаемых данных. Исследования проводились в диапазоне температур от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  при скорости подъема температуры  $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , что соответствует стандартным условиям, установленным в соответствии с ISO 12963:2017 Анализ газа. Методы сравнения для определения состава газовых смесей на основе одноточечной и двухточечной калибровки [8].

### **Результаты и обсуждение**

Анализ газа включал в себя измерение содержания различных газовых компонентов, таких как кислород ( $\text{O}_2$ ), азот ( $\text{N}_2$ ), углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), а также возможных примесей, таких как оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ) и другие [9, с. 15]. Для этого могли использоваться различные методы анализа, включая газовую хроматографию (GC) и спектральный анализ. Полученные данные об атмосферном составе воздуха до начала эксперимента позволяют исключить возможное влияние примесей на результаты исследования и обеспечить точность и

достоверность получаемых данных о выделении углеводов и других продуктов в процессе термической деструкции угля.

Результаты исследований по выходу углеводородных компонентов представлены в таблице 1 и на рисунке 2 и 3.

Таблица 1 - Выход углеводородных компонентов

Состав, %	Коксовый фюзинитовый уголь месторождения «Богенбай - Жила»				Коксовый низкометаморфозный уголь месторождения «Восточный пласт – 2»			
	Температура, °С				Температура, °С			
	150	300	450	610	150	300	450	610
CH <sub>4</sub>	-	-	61,18	41,2	-	-	64,5	42,30
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	-	-	5,2	0,70	-	-	3,5	1,05
H <sub>2</sub>	-	-	3,44	20,2	-	-	5,71	21,90

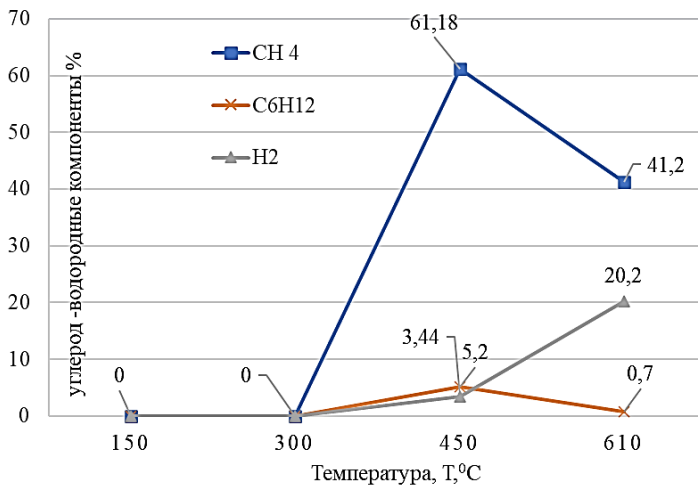


Рисунок 2 – Фрагментарный выход продуктов термической деструкции коксового фюзинитового угля месторождения «Богенбай - Жила»

Для визуализации данных на рисунке 2 представим зависимость процентного содержания каждого компонента от температуры. Для метана (CH<sub>4</sub>) наблюдается сперва резкое увеличение, а затем при достижении 450



С снижением процентного содержания с увеличением температуры. Это может объясняться его дальнейшей деструкцией и образованием более сложных углеводородов при более высоких температурах. Для компонента  $C_6H_{12}$  (гексена) также наблюдается снижение процентного содержания с увеличением температуры, хотя его начальное содержание и невелико. Это может указывать на его дальнейшее разложение или превращение в другие продукты при повышенных температурах. Процентное содержание водорода ( $H_2$ ) существенно увеличивается при повышении температуры от  $450\text{ }^{\circ}C$ . Это может быть связано с процессом разложения углеродных материалов и образованием более легких газов, включая водород.

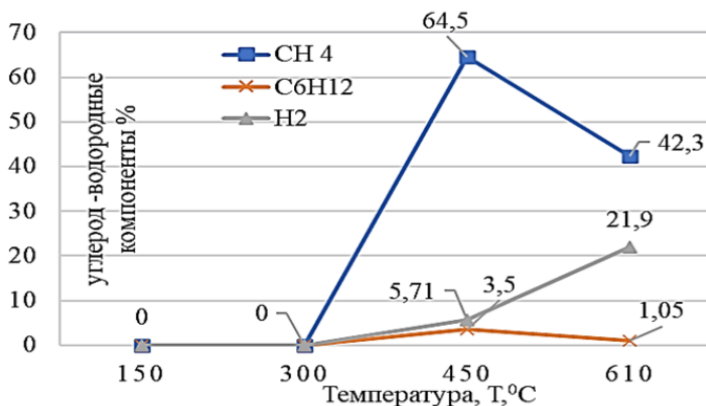


Рисунок 3 – Фрагментарный выход продуктов термической деструкции коксового низкометаморфозного угля месторождения

#### «Восточный пласт – 2»

При анализе рисунка 3 можно увидеть следующие изменения в содержании компонентов в процессе термической деструкции коксового низкометаморфозного угля месторождения «Восточный пласт – 2» при различных температурах. При увеличении температуры с  $450\text{ }^{\circ}C$  до  $610\text{ }^{\circ}C$  процентное содержание метана снижается с 64,5 % до 42,3 %, гексена  $C_6H_{12}$  снижается с 3,5 % до 1,05 %, водорода значительно увеличивается с 5,71 % до 21,9 %.

Анализируя полученные графики, можно будет сделать выводы о сходстве в поведении углеродных компонентов при термической деструкции двух типов угля.

### **Выводы**

Исследования показывают, что оба типа угля, как коксовый низкометаморфозный, так и коксовый фюзинитовый, обладают достаточным выходом углеводородных и водородных компонентов в процессе термической деструкции. Однако образцы коксового фюзинитового угля месторождения «Богенбай Жила» продемонстрировали незначительно более высокий выход этих компонентов (на 5 %) по сравнению с образцами коксового низкометаморфозного угля месторождения «Восточный пласт – 2».

Это может быть объяснено тем, что фюзинитовые угли обычно менее зрелые, чем низкометаморфозные угли [10, с.212]. Следовательно, они могут содержать больше органических материалов, которые могут быть лучше подвержены деструкции при нагреве, что приводит к большему образованию углеводородных и водородных компонентов.

Максимальный выход углеводородных компонентов обычно наблюдается при температуре 450 °С, после чего начинается постепенное снижение. Это объясняется тем, что при этой температуре происходит разрушение углеродных связей в угле, что способствует образованию углеводородов и водорода. Однако при дальнейшем повышении температуры начинает образовываться полукок, что снижает выход углеводородных компонентов.

На основании этих результатов рекомендуется использовать температурный интервал от 350 °С до 500 °С для получения максимального выхода углеводородных компонентов при термической деструкции угля.

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование публикуется в рамках реализации грантового финансирования научных проектов Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, ИРН АР19675062 «Разработка чистой угольной технологии для получения летучих горючих веществ».*

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Казахстан Текущее состояние угольной энергетики Казахстана [Текст] // Квартальный научный журнал «Журнал экономики и финансов» Институт экономических исследований Казахстана, 2023.

2 **Дягилев, Д. В., Шаврин, В. А., Празян, Т. Л.** Безотходное использование углей [Текст] // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Экология и безопасность в техносфере: Современные проблемы и пути решения» – Томск. 2017. С.188-191.

3 **Хуанг, Ю., Унгер, Н., Сторельвмо, Т., Харпер, К., Чжэн, Ю., Хейес, К.** Глобальные радиационные эффекты аэрозольных выбросов твердотопливных плит [Global radiative effects of solid fuel cookstove aerosol emissions] // Журнал «Химия атмосферы и Физика», № 18. – 2018. – С. 5219–5233.

4 **Атякшева, А. В., Атякшева, А. Д., Рывкина, Н. В., Ермеков, М. Т., Рожкова, О. В., Смагулов, А. С.** Анализ эффективности сжигания майкубенского бурого угля в отопительном котле «Камкор-300» [Effectiveness analysis of Maikuben brown coal combustion in the heating boiler «Kamkor-300»] // Журнал физики: серия конференций 2211, – 2022. С.205.

5 **Атякшева, А. В., Жакишев, Б. А., Тайбасаров, Ж. К., Тайбасарова, Ж. Ж., Карагаева М.** Исследование эффективности сжигания казахстанских углей котлов длительного горения мощностью до 100 кВт [Study of Kazakhstan`s coals burning efficiency of long-term combustion boilers up 100 kW], Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика» № 1(89) – 2018., С. 280.

6 **Мергалимова, А. К., Онгар, Б., Георгиев, А., Калиева, К., Абитаева, Р., Биссенбаев, П.** Параметры термической обработки угля с целью получения горючих летучих веществ [Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substances] Журнал «Энергия», Том № 224 – 2021, С. 148.

7 **Кондратьев, Р.** Комплексное повышение энергоэффективности и экологичности твердотопливной котельной [Comprehensive improvement of energy efficiency and environmental friendliness of a solid fuel boiler house] // Журнал «Материалы IV Международной научной конференции «Строительство и архитектура: теория и практика инновационного развития» (САТРИД-2021 Часть 1). – 2021. – № 281. – С. 7.

8 Казахстан 2022. Обзор энергетического сектора. Международное агентство энергетического сектора [Текст]. 2022.

9 ISO 12963:2017 Газовый анализ. Методы сравнения для определения состава газовых смесей на основе одно- и двухточечной калибровки. [ISO 12963:2017 Gas analysis Comparison methods for the determination of the composition of gas mixtures based on one- and two-point calibration]. [Язык: английский] – 2017. С.24.

10 **Онгар, Б., Сарсенбаев, Е. А., Мергалимова, А. К.** Чистые угольные технологии, монография: – Алматы, 2023., – С. 349.

## REFERENCES

1 Kazakhstan Tekushhee sostoyanie ugol'noj e`nergetiki Kazaxstana [The current state of coal energy in Kazakhstan] // Kvartal'ny`j nauchny`j zhurnal «Zhurnal e`konomiki i finansov» Institut e`konomicheskix issledovanij Kazaxstana [Quarterly scientific journal «Journal of Economics and Finance» Institute of Economic Research of Kazakhstan], 2023.

2 **Dyagilev, D. V., Shavrin, V. A., Prazyan, T. L.** Bezotxodnoe ispol`zovanie uglej [Waste-free use of coal] // Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «E`kologiya i bezopasnost` v texnosfere: Sovremenny`e problemy` i puti resheniya» [Collection of proceedings of the All-Russian scientific and practical conference «Ecology and safety in the technosphere: Modern problems and solutions»]. – Tomsk, 2017. P. 188–191

3 **Huang, Y., Unger, N., Storelvm, T., Harper, K., Zheng, Y., Heyes, C.** Global'ny`e radiacionny`e e`ffekty` ae`rozol`ny`x vy`brosov tverdotoplivny`x plit [Global radiative effects of solid fuel cookstove aerosol emissions] // Journal «Atmospheric Chemistry and Physics», № 18. – 2018. P. 5219–5233

4 **Atyaksheva, A. V., Atyaksheva, A. D., Ryvkina, N. V., Yermekov M. T., Rozhkova O. V. and Smagulov A. S.** Analiz e`ffektivnosti szhiganiya majkubenskogo burogo uglya v otopitel`nom kotle «Kamkor-300» [Effectiveness analysis of Maikuben brown coal combustion in the heating boiler «Kamkor-300»]. Journal of Physics: Conference Series 2211, – 2022. – 205 p.

5 **Atyaksheva, A. V., Zhakishev, B. A., Taybasarov, Zh. K., Taybasarova, Zh. Zh., Karagaeva, M.** Issledovanie e`ffektivnosti szhiganiya kazaxstanskix uglej kotlov dlitel`nogo gorenija moshhnost`yu do 100 kVt

[Study of Kazakhstan`s coals burning efficiency of long-term combustion boilers up 100 kW]. // Bulletin of Karaganda University. Physics Series № 1 (89) – 2018, – 280 p.

6 **Mergalimova, A. K., Ongar, B., Georgiev, A., Kalieva, K., Abitaeva, R., Bissenbaev P.** Parametry` termicheskoj obrabotki uglja s cel`yu polucheniya goryuchix letuchix veshhestv [Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substance]. // Energy. Volume 224 – 2021., 148 p.

7 **Kondratev, R.** Kompleksnoe povы`shenie e`nergoe`ffektivnosti i e`kologichnosti tverdotoplivnoj kotel`noj [Comprehensive improvement of energy efficiency and environmental friendliness of a solid fuel boiler house] // Journal «Material of IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2021 Part 1). – 2021. – № 281. – С. 7.

8 Kazaxstan Obzor e`nergeticheskogo sektora. Mezhdunarodnoe agentstvo e`nergeticheskogo sektora [Kazakhstan 2022. Energy Sector Review. International Energy sector agency]. – 2022.

9 ISO 12963:2017 Gazovy`j analiz. Metody` sravneniya dlya opredeleniya sostava gazovy`x smesej na osnove odno- i dvuxtochechnoj kalibrovki [ISO 12963:2017 Gas analysis Comparison methods for the determination of the composition of gas mixtures based on one- and two-point calibration]. [Language : English] – 2017. – 24 p.

10 **Ongar, B., Sarsenbaev, E. A., Mergalimova, A. K.** Chisty`e ugol`ny`e tehnologii monografiya, [Clean Coal Technologies], [monograph], Almaty – 2023., – 349 p.

Поступило в редакцию 25.04.24.

Поступило с исправлениями 29.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

А. К. Мерғалимова<sup>1</sup>, А. В. Атякшева<sup>1</sup>, \* М. Б. Айтмағамбетова<sup>1</sup>,  
Н. Қ. Сейтжаппаров<sup>2</sup>, А. Н. Жолдыбаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Қазақский агротехнический университет имени С. Сейфуллина Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

25.04.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## ОТЫН ГАЗДАРЫН ӨНДІРУДІҢ ТАЗА КӨМІР ТЕХНОЛОГИЯСЫН ДАМУЫ МӘСЕЛЕСІ ТУРАЛЫ

*«Шығыс алаңы – 2 және Бөгенбай – Жыла» кен орындары сияқты метаморфоздылығы төмен қазақстандық көмірлерде жүргізілген зерттеулер циклогексан, метан және сутегі сияқты әртүрлі газдарды шығару үшін оңтайлы температура диапазондарын анықтауға мүмкіндік берді. Бұл газдар кейінгі сұйылту үшін ең тиімді фрагменттер болып табылады. Фусинитті және төмен метаморфозды көмірлердің көмірсутекті және сутегі компоненттерінің жоғары шығымдылығын ерекше атап өткен жөн, бұл оларды кейіннен сұйылтумен тікелей жану технологиясы үшін тартымды етеді. Сонымен қатар, бұл зерттеулер табиғи ресурстарды пайдаланудың тиімдірек және экологиялық таза технологияларын жасауға әкелуі мүмкін. Дәстүрлі энергия көздерінің шектеулері мен көмір сияқты баламалы көздерге сұраныстың артып келе жатқанын ескере отырып, осы деректерге негізделген технологиялар энергетикалық қауіпсіздік пен тұрақты дамуды қамтамасыз етуде шешуші рөл атқара алады. Газ фрагменттерін сұйылту үшін пайдалану парниктік газдар шығарындыларын азайтуға және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға көмектеседі. Бұл зерттеу нәтижелері ұшқыш жанғыш газдарды шығару және оларды кейіннен сұйылту мақсатында метаморфизмнің төмен дәрежесі*

*бар кокс көмірлерін термиялық қыздыруға арналған құрылғыларды одан әрі әзірлеу және жобалау үшін маңызды.*

*Кілтті сөздер: сұйылту, ұшқыш отын газдары, термиялық қыздыру, термиялық деструкция, көмірсутек фрагменті, метаморфизм.*

*A. K. Mergalimova<sup>1</sup>, A. V. Atyaksheva<sup>1</sup>, \*M. B. Aitmagambetova<sup>1</sup>,*

*N. K. Seitzhapparov<sup>2</sup>, A. N. Zholdybaeva<sup>2</sup>*

*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Republic of Kazakhstan, Astana;*

*L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana.*

*Received 25.04.24.*

*Received in revised form 29.04.24.*

*Accepted for publication 02.06.24.*

## **ON THE ISSUE OF DEVELOPMENT OF CLEAN COAL TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF FUEL GASES AND THEIR FURTHER LIQUEFACTION**

*Studies conducted on low-metamorphosity Kazakhstani coals, such as the «Eastern Plat – 2 and Bogenbay – Zhila» deposits, made it possible to determine the optimal temperature ranges for the release of various gases, such as cyclohexane, methane and hydrogen. These gases are the most effective fragments for subsequent liquefaction. It is especially worth noting that fusinite and low-metamorphosis coals have a high yield of hydrocarbon and hydrogen components, which makes them attractive for direct combustion technology with subsequent liquefaction. In addition, this research could lead to the development of more efficient and environmentally friendly technologies for using natural resources. Given the limitations of traditional energy sources and the growing demand for alternative sources such as coal, technologies based on these data can play a key role in ensuring energy security and sustainable development. The use of gas fragments for liquefaction can help reduce greenhouse gas emissions and reduce negative environmental impacts. These research results are important for further development and design of devices for*

*thermal heating of coke coals with a low degree of metamorphism, with the aim of releasing volatile combustible gases and their subsequent liquefaction.*

*Keywords: liquefaction, volatile fuel gases, thermal heating, thermal destruction, hydrocarbon fragment, metamorphism.*



МРНТИ 44.09.33

<https://doi.org/10.48081/DXAS6433>

**А. Д. Мехтиев<sup>1</sup>, \*Т. С. Герасименко<sup>1</sup>, Е. Ж. Сарсикеев<sup>1</sup>,  
А. Д. Алькина<sup>2</sup>**

*1* ИАО Казахский агротехнический исследовательский университет имени  
С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана,

*2* Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,  
Республика Казахстан, г. Караганда.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОМАГНИЧЕННОЙ ВОДЫ НА ВСХОЖЕСТЬ И РОСТ РАССАДЫ ТОМАТА**

*Рассмотрен новый подход к повышению устойчивости роста растений и поиск экологически чистых методов повышения урожайности сельскохозяйственной продукции, что является одной из наиболее актуальных задач в мире, поскольку население планеты постоянно растет. Традиционные методы повышения урожайности, и улучшения роста растений, основаны в большей мере на использовании химических удобрений и пестицидов, это часто приводит к негативным последствиям для окружающей среды. Чрезмерное использование химикатов приводит к загрязнению земельных и водных ресурсов. В связи с этим все более популярным становится использование новых технологий, которые позволят повысить продуктивность сельскохозяйственных культур без вреда для экологии. В статье описывается опыт выращивания рассады томата при помощи использования омагниченной воды, для получения которой была сконструирована лабораторная установка. Электропроводность воды понижалась путем прохождения ее через магнитное поле, созданное неодимовыми магнитами постоянного тока. Растения, поливаемые данной омагниченной водой, показывали лучший рост и развитие, а также почти двукратную устойчивость к засухе по сравнению с растениями, которые поливались обычной водопроводной водой.*

*Совместно со снижением электропроводности изменялся и рН - фактор омагниченной воды (становился более нейтральным), что тоже благоприятно влияет на процесс вегетации томата.*

*Ключевые слова: магнитное поле, омагниченная вода, рассада томата, постоянные магниты, электропроводность воды.*

## **Введение**

В научной литературе встречается описание положительного влияния магнитного поля на питательную воду, используемую в теплоэнергетическом оборудовании и теплообменниках, которая после обработки магнитным полем, не вызывает образование накипи на поверхностях нагрева. Так же имеются сведения, касающихся исследований, связанных с влиянием омагниченной воды на рост и созревание различных растений, например при их поливе или замачивании непосредственно самих семян перед посевом [1; 2; 3; 4].

В последнее время в мире наблюдается рост научного интереса к экологически чистым технологиям в сельском хозяйстве. Соответственно формируются перспективы применения технологий омагничивания или можно сказать воздействия магнитного поля на воду, которую можно использовать в сельском хозяйстве, например для проращивания семян, орошения или обработки различных сельскохозяйственных культур. Немаловажное значение в этом случае играет установка для уменьшения электропроводности и очистки воды, которая должна удовлетворять определенным требованиям, например: дешевизна, автономность работы, эффективность, компактность.

Известно, что действие магнитов на воду дает положительный эффект только при движении водного потока, так же на качество воды влияют такие показатели как ориентация магнитных полюсов, скорость движения, материал трубопровода [5].

Для начала необходимо рассмотреть механизм действия магнитного поля на поток водопроводной воды, проходящей по трубопроводу, выполненного из немагнитного материала, на боковой поверхности которого установлены постоянные магниты.

Установлено, что возможно достичь изменения свойств воды, пропущенной через магнитное поле, которая оказывает благоприятное

воздействие на биологические объекты, так как наблюдается изменение структурной сетки водородных связей, даже при малых значениях магнитной энергии [4; 5].

Так же можно отметить, что при воздействии на молекулу воды магнитным полем, возникает сила Лоренца и наблюдается деформация связи между ассоциатами. Совершается более плотная упаковка ионов, за счет образования более сильных водородных связей, в результате которой, слабые молекулярные связи разрушаются и происходит возникновение кластеров с большим дипольным моментом [6]. Величина сформировавшихся кластеров, растворенных в воде химических соединений зависит от множества факторов, таких как: температура воды, время и сила воздействия магнитного поля, также имеется зависимость от скорости движения водного потока и др. Свойства же омагниченной воды зависит от соотношения различных по размерам ассоциатов воды и степени гидратации ионов.

Существует мнение, что структурное изменение воды может изменять ее биологическую активность. Имеются публикации, в которых представлены результаты исследований влияния магнитной обработки воды, где указано не только повышение урожайности растений и улучшение их состава, а также увеличение, в определенных пределах, прочности цементного раствора [7] или снижение образования накипи на поверхностях нагрева теплообменников [8].

Учитывая вышесказанное, сформирована задача, которая направлена на проверку гипотезы применения магнитного устройства для уменьшения электропроводности воды, используемой в сельскохозяйственных целях.

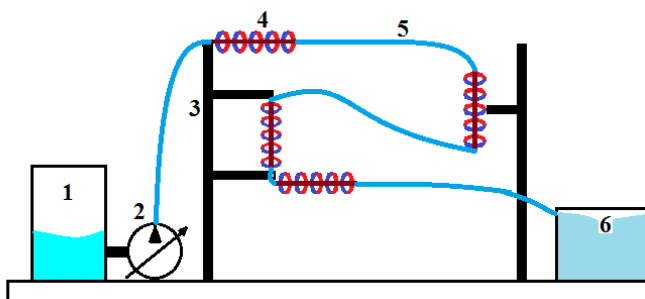
### **Материалы и методы**

Объектом исследования были выбраны семена сорта растения «Американские томаты». Место проведения исследований – город Астана (северный Казахстан), ориентация окон – западное. Время проведения эксперимента с 27.03.2023 по 29.05.2023, продолжительность наблюдения составила 63 дня. Семена были посажены в пластиковые стаканчики с землей с полностью идентичным составом и разделены по ящикам, в каждом размещалось по 12 стаканчиков. Рассада в одном ящике поливалась обычной водопроводной водой, в другом – водой, обработанной магнитным полем. Для чистоты эксперимента было выбрано одинаковое

количество корней – 12 штук, земли – 400 миллиграмм, количество воды для разового полива – 80 мл. Также были созданы одинаковые условия освещения и влажности. Ящики располагались на одном подоконнике и не перемещались в течение всего эксперимента. Опыт основывался на классических подходах планирования и проведения эксперимента.

Коллективом авторов, на базе Казахского агротехнического исследовательского университета в рамках проекта грантового финансирования АР 19679359, была специально сконструирована установка для воздействия полями постоянных магнитов на поток воды с целью очистки ее от солей жесткости и уменьшения электропроводности, а также была проведена серия экспериментов с целью изучения влияния омагниченной воды на всхожесть и развитие рассады томата.

Водопровод выполнен из отрезков пластиковой трубы с внутренним диаметром 8 мм, которые соединены медными трубками. На боковых поверхностях трубопровода закреплены парные магниты NdFeB диаметром 12 мм и толщиной 5 мм, которые одноименными полюсами N-N направлены друг к другу (всего было задействовано 24 пары магнитов). Расположенные таким образом магниты, дают наибольшую эффективность снижения электропроводности воды [5]. Данное магнитное устройство позволяет снизить электропроводность воды в среднем на 6,5 %. Напряженность магнитного поля на магнитных участках трубопровода находилась в пределах 90 - 120 мТл. Процесс омагничивания воды для полива проводился в следующей последовательности: в бак № 1 заливалась водопроводная (необработанная) вода и перекачивалась насосом через модули, представляющие собой неметаллические трубки с закрепленными на них магнитами. После обработки, омагниченная вода попадала в бак № 6, из которого отбиралось определенное ее количество для проведения химического анализа и полива экспериментального посева. Структурная схема данного устройства указана на рисунке 1.



- 1 – бак с водопроводной водой; 2 – регулируемый насос;  
3 – штатив для крепления трубопровода; 4 – магнитный модуль;  
5 – пластиковый трубопровод; 6 – бак с омагниченной водой.

Рисунок 1 – Схема магнитного устройства

На рисунке 2 представлено фото магнитного устройства для обработки воды, которое было использовано в экспериментах.

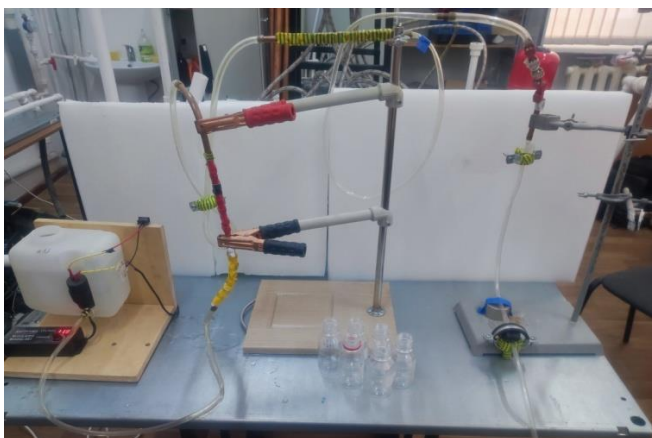


Рисунок 2 – Фото магнитного устройства

Наблюдения за фазой развития рассады томатов основывались на сравнении следующих показателей: всхожесть семян, рост растения, устойчивость к засухе. Температура помещения колебалась в пределах

23 – 26 °С.

### Результаты и обсуждения







Результаты проводимого эксперимента указаны в таблице 1. После достижения фазы роста томата достаточной для высадки в активный грунт и дальнейшего его развития и созревания, было решено проверить экспериментальный посев на стойкость к засухе. Для этого был прекращен полив на 27 дней. После этого был проведен подсчет выживших ростков, который показал стабильную устойчивость к засухе растений выращенных на поливе омагниченной водой.

Таблица 1– Конечные экспериментальные данные

Вид воды	Количество посеженных семян, шт	Количество всходов на 7 день, шт	Средняя высота стебля, см				Устойчивость к засухе, шт
			На 7 день	На 4 день	На 4 день	На 6 день	
Омагниченная	12	11	5	9	11	13	7
водопроводная	12	11	4	8	9	11	4

Для наглядности результата исследований на определенных этапах эксперимента помимо замеров выбранных показателей, осуществлялся фото отчет (таблица 2).

Таблица 2 – Фото отчет этапов роста и развития рассады томата

Полив водопроводной водой	Полив омагниченной водой	примечание
		На 7 день
		На 44 день
		На 63 день
		Устойчивость к засухе

На относительно благоприятный исход эксперимента оказал влияние факт изменения рН – фактора воды, под действием магнитного поля и приближение его к нейтральному значению равному 7, (до обработки вода была слабощелочная с рН от 7,8–8). Согласно источникам [9], для роста и вегетации томата удовлетворительный уровень рН фактора должен находиться в пределах 5,5–7,5.

Если среда сильно-кислая, то ионы водорода вытесняют катионы из состояния адсорбции, что пагубно влияет на корневую систему растения, меняя ее внутреннее строение. Если среда сильно-щелочная, то наблюдается нарушение процесса поглощения анионов и минеральные вещества выпадают в осадок в виде солей кальция, марганца и железа, которые оседая на поверхности корневой системы, вызывают заболевание, характеризующиеся пожелтением листьев растения [10].

### **Информация о финансировании**

Исследования профинансированы за счет средств гранта AP19679359 «Разработка системы магнитной обработки технической воды для снижения образования накипи на поверхности нагрева теплоэнергетического оборудования».

### **Выводы**

Планируется в дальнейшем создать прототип оросительной установки, в которой будут использованы постоянные магниты для омагничивания воды. Применение такой воды требует дальнейшего изучения и практической апробации, так как магнитные поля влияют на воду, которой поливают растения. На основании проведенных натуральных экспериментов формируется мнение, что возможно повысить урожайность сельскохозяйственных культур и их устойчивость к засыханию, а также повысить устойчивость растений к неблагоприятным условиям окружающей среды.

В заключении можно отметить, что использование имеющихся на сегодняшний день и разработка новых технологий и устройств, позволяющих добиваться значительного улучшения свойств воды, за счет уменьшения электропроводности, при непосредственно низкоэнергетическом воздействии, являются актуальными в различных сферах жизнедеятельности человека будь это в биологии, медицине или в технике [11,12]. В целом сфера применения данных продуктов



предназначенных для модификации структуры воды постоянно расширяется.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Белов, В. В., Григорьева, Т. М., Белов, Е. Л., Ларкин, С. В.** Исследование влияния электроактивированной воды на всхожесть семян огурцов и их рост// Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. №2 (25). С. 160–165.

2 **Ксенз, Н. В., Хронюк, В. Б., Ерешко, А. С., Сидорцов, И. Г.** Влияние предпосевной обработки семян градиентными магнитными полями и электроактивированной водой на их стартовые характеристики, развитие растений и урожайность зерновых культур// Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 3 (47) – С. 22–28.

3 **Лыгин, С. А., Жигалова, Е. А., Пурина Е. С.** Реализация практико-ориентированного проекта «Влияние омагниченной воды на рост лука репчатого»// Universum: химия и биология. – 2017. – № 3 (33). – С. 11–16.

4 **Йулчиев, Б.** Магнитная вода и урожайность пшеницы// Достижения науки и техники АПК, 2011. – №7. – С. 37–38.

5 **Клочков, А. В., Соломко, О. Б.** Активизация магнитного воздействия на воду при перемешивании // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 154–159.

6 **Букатый, В. И., Нестерюк, П. И.** Исследование оптических неоднородностей (кластеров) в бидистиллированной воде оптическим методом малых углов // Ползуновский вестник. – 2011. – №4-2. – С. 106–108.

7 **Горленко, Н. П., Сафронов, В. Н., Абзаев, Ю. А., Саркисов Ю. С., Кугаевская, С. А., Ермилова, Т. А.** Магнитное поле как фактор управления свойствами и структурой цементных систем. Часть 1. Теоретические предпосылки влияния магнитного поля на физико-химические процессы // Вестник ТГАСУ. – 2015. – № 3 (50). С.134–150.

8 **Mekhtiyev, A. D., Sarsikayev, Ye. Zh. Atyaksheva, A. V. Atyaksheva, A. D. Gerassimenko, T. S. Alkina, A.D.** Method of preventing deposits on the inner surface of circulating water pipelines of fer-roalloy electric furnace cooling

systems // METALURGIJA – 60(2021) – 3-4, – P. 321–324. – [Electronic resource]. – (<https://hrcak.srce.hr/256098>).

9 Кислотность почвы: как влияет уровень pH на рост и развитие растений? [Электронный ресурс]. – URL:<https://semena-zakaz.ru/blog/raznoe/kislotnost-pochvy-kak-vliyaet-uroven-ph-na-rost-i-razvitiye-rasteniy/>. (Дата обращения 10.01.2024)

10 Влияние кислотности (pH) раствора на рост растений. [Электронный ресурс]. – URL: <https://floragrowing.com/ru/encyclopedia/vliyanie-kislotnosti-ph-rastvora-na-rost-rasteniy> (Дата обращения 10.02.2024).

11 Сарсенов, А. М., Базарбаева, С. М., Садыков, А. Р., Сарсенгалиев К. Снижение вредного влияния нефти в воде на растения при помощи постоянного магнитного поля // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2006. – №5 (18). – С. 96–99.

12 Martinez, E., Florez, M., Carbonell, M. V. Stimulatory Effect of the Magnetic Treatment on the Germination of Cereal Seeds // International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB). – Vol. 2 (1).– 2017.- P. 375–381.

## REFERENCES

1 Belov, V. V., Grigor`eva, T. M., Belov, E. L., Larkin, S. V. Issledovanie vliyaniya e`lektraktivirovannoj vody` na vsxozhest` semyan ogurczov i ix rost. [Investigation of the effect of electroactivated water on the germination of cucumber seeds and their growth]// Bulletin of the Chuvash State Agrarian University. – 2023. – №.2 (25). – P. 160–165.

2 Ksenz, N. V., Xronyuk, V. B., Ereshko, A. S., Sidorcov, I. G. Vliyanie predposevnoj obrabotki semyan gradientny`mi magnitny`mi polyami i e`lektraktivirovannoj vodoj na ix startovy`e karakteristiki, razvitiye rastenij i urozhajnost` zernovy`x kul`tur. [The effect of pre-sowing seed treatment with gradient magnetic fields and electroactivated water on their starting characteristics, plant development and grain yield]// Bulletin of Agrarian Science of the Don. – 2019. – № 3 (47). – P. 22–228.

3 Ly`gin, S. A., Zhigalova, E. A., Purina E. S. Realizaciya praktiko-orientirovannogo proekta «Vliyanie omagnichennoj vody` na rost luka

repchatogo». [Implementation of the practice-oriented project «The effect of magnetized water on onion growth»]// *Universum: Chemistry and Biology*. 2017. – № 3 (33). – P. 11–16.

4 **Julchiev, B.** Magnitnaya voda i urozhajnost` pshenicy. [Magnetic water and wheat productivity]// *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*. – 2011. – №7. – P. 37–38.

5 **Klochkov, A. V., Solomko, O. B.** Aktivizaciya magnitnogo vozdejstviya na vodu pri peremeshivanii. [Activation of the magnetic effect on water during stirring]// *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2021. № 2. P. 154-159.

6 **Bukaty`j, V. I., Nesteryuk, P. I.** Issledovanie opticheskix neodnorodnostej (klasterov) v bidistillirovannoj vode opticheskim metodom mal`x uglov. [Investigation of optical inhomogeneities (clusters) in bidistilled water by the optical method of small angles] // *Polzunovsky bulletin*. – 2011. – № 4–2. – P. 106–108.

7 **Gorlenko, N. P., Safronov, V. N., Abzaev, Yu. A., Sarkisov Yu. S., Kugaevskaya, S. A., Ermilova, T. A.** Magnitnoe pole kak faktor upravleniya svojstvami i strukturaj cementny`x sistem. Chast` 1. Teoreticheskie predposy`lki vliyaniya magnitnogo polya na fiziko-ximicheskie processy` [The magnetic field as a factor in controlling the properties and structure of cement systems. Part 1. Theoretical background of the influence of the magnetic field on physico-chemical processes] // *Bulletin of the TSASU*. – 2015. – № 3 (50). – P.134–150.

8 **Mekhtiyev, A. D., Sarsikyevev, Ye. Zh. Atyaksheva, A. V. Atyaksheva, A. D. Gerassimenko, T. S. Alkina, A.D.** Method of preventing deposits on the inner surface of circulating water pipelines of fer-roalloy electric furnace cooling systems // *METALURGIJA* 60(2021) 3-4, – P. 321-324.  
<https://hrcak.srce.hr/256098>.

9 Kislotnost` pochvy`: kak vliyaet uroven` pH na rost i razvitie rastenij? [Soil acidity: how does the pH level affect the growth and development of plants?]. [Electronic resource]. – URL: <https://semena-zakaz.ru/blog/raznoe/kislotnost-pochvy-kak-vliyaet-uroven-ph-na-rost-i-razvitie-rasteniy/>.

10 Vliyanie kislotnosti (pH) rastvora na rost rastenij. [The effect of the acidity (pH) of the solution on plant growth]. [Electronic resource].-URL:

<https://floragrowing.com/ru/encyclopedia/vliyanie-kislotnosti-ph-rastvora-na-rost-rasteniy>.

11 Sarsenov, A. M., Bazarbaeva, S. M., Sadykov, A. R., Sarsengaliev, K. Snizhenie vrednogo vliyaniya nefti v vode na rasteniya pri pomoshhi postoyannogo magnitnogo polya. [Reducing the harmful effects of oil in water on plants by using a permanent magnetic field] // South Russian Bulletin of Geology, Geography and Global Energy. – 2006. № 5 (18). – P. 96–99.

12 Martinez, E., Florez, M., Carbonell, M. V. Stimulatory Effect of the Magnetic Treatment on the Germination of Cereal Seeds // International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB), vol. 2 (1). 2017, P. 375–381.

Поступило в редакцию 15.02.24.

Поступило с исправлениями 19.02.24.

Принято в печать 02.06.24.

А. Д. Мехтиев<sup>1</sup>, \*Т. С. Герасименко<sup>1</sup>, Е. Ж. Сарсикеев<sup>1</sup>, А. Д. Алькина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.,

<sup>2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

15.02.24 ж. баспаға түсті.

19.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## МАГНИТТЕЛГЕН СУДЫҢ ҚЫЗАНАҚ КӨШЕТТЕРІНІҢ ӨНУІ МЕН ӨСУІНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

*Өсімдіктердің өсу тұрақтылығын арттырудың жаңа тәсілі және ауылшаруашылық өнімінің өнімділігін арттырудың экологиялық таза әдістерін іздеу қарастырылды, бұл әлемдегі ең өзекті міндеттердің бірі, өйткені планета халқы үнемі өсіп келеді. Өнімділікті арттырудың және өсімдіктердің өсуін жақсартудың дәстүрлі әдістері көбінесе химиялық тыңайтқыштар мен пестицидтерді қолдануға негізделген, бұл көбінесе қоршаған ортаға*

*теріс әсер етеді. Химиялық заттарды шамадан тыс пайдалану жер мен су ресурстарының ластануына әкеледі. Осыған байланысты экологияға зиян келтірместен дақылдардың өнімділігін арттыруға мүмкіндік беретін жаңа технологияларды қолдану танымал бола бастады. Мақалада қызанақ қошеттерін магниттелген суды пайдаланып өсіру тәжірибесі сипатталған, оны алу үшін зертханалық қондырғы салынған. Судың электр өткізгіштігі оны тұрақты тоқтың неодим магниттері тудыратын магнит өрісі арқылы өткізу арқылы төмендеді. Берілген магниттелген сумен суарылатын өсімдіктер кәдімгі ағын сумен суарылатын өсімдіктермен салыстырғанда жақсы өсу мен дамуды, сондай-ақ құрғақшылыққа екі есе дерлік төзімділікті көрсетті. Сондай - ақ, мақалада электр өткізгіштігі аз және рН факторы бар суару үшін пайдаланылатын суды алу үшін ауыл шаруашылығында қолданылатын суару және суару жүйелерін модернизациялау бойынша ұсыныстар мен негіздемелер келтірілген.*

*Кілтті сөздер: магнит өрісі, магниттелген су, қызанақ қошеттері, тұрақты магниттер, судың электр өткізгіштігі.*

A. D. Mekhtiyev<sup>1</sup>, \*T. S. Gerassimenko<sup>1</sup>, Ye. Zh. Sarsikeyev<sup>1</sup>, A.D. Alkina<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>2</sup>Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Received 15.02.24.

Received in revised form 19.02.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **ASSESSMENT OF THE EFFECT OF MAGNETIZED WATER ON THE GERMINATION AND GROWTH OF TOMATO SEEDLINGS**

*A new approach to increasing the sustainability of plant growth and the search for environmentally friendly methods to increase agricultural*

*yields is considered, which is one of the most urgent tasks in the world, since the world's population is constantly growing. Traditional methods of increasing yields and improving plant growth are based more on the use of chemical fertilizers and pesticides, which often leads to negative consequences for the environment. Excessive use of chemicals leads to pollution of land and water resources. In this regard, the use of new technologies that will increase the productivity of crops without harm to the environment is becoming increasingly popular. The article describes the experience of growing tomato seedlings using the use of magnetized water, for which a laboratory installation was designed. The electrical conductivity of the water was reduced by passing it through a magnetic field created by DC neodymium magnets. Plants watered with this magnetized water showed better growth and development, as well as almost twofold resistance to drought compared to plants that were watered with ordinary tap water. The article also provides recommendations and justification for the modernization of irrigation and irrigation systems used in agriculture to obtain water used for irrigation with lower electrical conductivity and pH factor.*

*Keywords: magnetic field, magnetized water, tomato seedlings, permanent magnets, electrical conductivity of water.*

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/IJYC8604>**\*А. Н. Новожилов, Д. К. Имангазинова***Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар**\*e-mail: [dinaraigul@mail.ru](mailto:dinaraigul@mail.ru)*

## **МЕТОДЫ ПОИСКА ПОВРЕЖДЕННОЙ СЕКЦИИ В ТРЁХФАЗНЫХ ОБМОТКАХ**

*Отличительной особенностью трехфазных электрических машин переменного тока является одинаковое исполнение статора и фазного ротора. При этом отключение таких электрических машин высокочувствительной защитой от витковых замыканий в обмотках статора или фазного ротора достаточно часто образуется секция со «скрытым» повреждением. В работе рассматриваются все наиболее известные методы определения секции со «скрытыми» повреждениями обмоток статора и фазного ротора.*

*Значительная из них относится к тем методам поиска поврежденной секции в обмотках статора и фазного ротора, в которых диагностирующими признаком повреждения является потемневшая, обуглившаяся или сгоревшая изоляции. При этом этот диагностирующий признак может возникнуть под действием токов как в процессе работы электрической машины, так и в процессе диагностирования с помощью подключения к ней специальных средств.*

*Другая часть методов основана на использовании для поиска поврежденной секции в обмотках статора и фазного ротора магнитных полей, которые индуктируют в замкнувшихся витках поврежденной секции ток создающий свое локальное магнитное поле. При этом определение места нахождения этих магнитных полей осуществляется по разному. В связи с этим в работе*

*осуществляется оценка достоинств и недостатков всех этих методов.*

*Ключевые слова: Электрические машины, трёхфазные обмотки, витковые замыкания, «скрытые» повреждения, поиск поврежденной секции.*

## **Введение**

В электроэнергетике трехфазные электрические машины служат для преобразования электрической энергии в механическую энергию и наоборот [1;2;3]. Такое преобразование обычно осуществляется с помощью синхронных: генераторов, двигателей и компенсаторов, а также асинхронных генераторов и двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором. Отличительной особенностью всех этих электрических машин является одинаковое исполнение обмоток статора и фазного ротора.

Как показывает практика эксплуатации этих электрических машин, чаще всего возникновение КЗ в обмотке статора или фазного ротора начинается со снижения диэлектрической прочности или повреждения витковой изоляции. При достаточном межвитковом напряжении в точке соприкосновения витков с такой изоляцией [4; 5]. Ее появление вызывает плавление замкнувшихся проводников, а затем и лежащих рядом проводников. Секционная изоляция более массивна, чем витковая. Поэтому, независимо от места расположения точки КЗ в пазу, первоначально увеличение размеров повреждения происходит в пределах одной секции. При этом, если защита электрической машины обладает высокой чувствительностью к витковым замыканиям (ВЗ) [6], то размеры повреждения не выходят за пределы поврежденной секции. В связи с этим достаточно часто образуется секция со «скрытым» повреждением. Определение места расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотках статора и фазного ротора возникшей в результате ВЗ может осуществляться по разному.

## **Материалы и методы**

Наиболее простым и не требующим специального оборудования является способ, в котором место повреждения обмотки статора или фазного ротора определяется визуально, то есть путем внешнего осмотра секций ремонтным персоналом. При этом диагностирующими признаком



повреждения является потемневшая, обуглившаяся или сгоревшая изоляции.

Достоинство этого способа заключается в его простоте. А основным недостатком является то, что при «скрытом» повреждении изоляции секции не всегда удастся ее обнаружить в том случае, когда релейная защита достаточно быстро отключила электрическую машину и остановила развитие аварии.

Если таким образом обнаружить поврежденную секцию не удастся, то можно воспользоваться способом, при котором обмотку фазы статора на некоторое время подключают к источнику пониженного напряжения, например, к сварочному трансформатору [7]. При этом поврежденную секцию обнаруживают по появлению дыма, потемнению или возгоранию изоляции.

Основным недостатком этого способа является то, что, нагрев поврежденной секции до получения необходимого результата может привести к повреждению изоляции прилегающих к ней секций.

К аналогичным результатам может привести использование для поиска поврежденной секции установка, которая изображена на рисунке 1. Для ее реализации статор 1 с помощью корпуса 2 электродвигателя закрепляется на экспериментальной установке 3. Соосно с ним на специальной стойке 4 устанавливается стальной цилиндр 5.

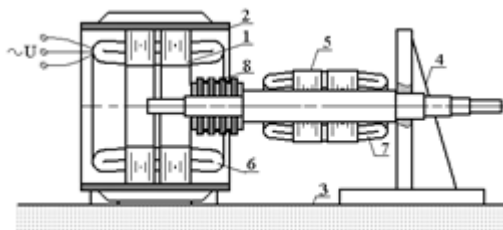


Рисунок 1 – Проверка обмотки статора на межвитковое замыкание

При проверке обмотки 6 статора 1 на ВЗ этот цилиндр вместо ротора вдвигается в статор. При этом обмотка 6 статора подключается к трехфазному напряжению. Если в ней ВЗ отсутствует, то величина тока во всех трех фазах обмотки статора будет одинаковой. При наличии в обмотке статора ВЗ появляется сильное гудение и нагрев этой обмотки статора в

области расположения замкнутых витков, а также дым и запах горелой изоляции. В данном случае определение места расположения поврежденной секции определяется приблизительно по месту расположения точки наибольшего нагрева обмотки статора.

При проверке фазной обмотки 7 ротора на этой экспериментальной установке его вместо стального цилиндра вдвигается в статор. При этом к трехфазному напряжению через контактные кольца 8. подключается обмотка 6 ротора. Наличие ВЗ в этой обмотке также обнаруживается по сильному гудению и нагреву обмотки в области расположения замкнутых витков.

Так как точно обнаружить приведенными способами поврежденную секцию не всегда удастся, то можно воспользоваться способом замера напряжения на секциях обмотки статора. Этот способ основан на том, что приложенное к обмотке статора напряжение распределяется равномерно по ее секциям, а число витков во всех секциях одинаково. Таким образом, напряжение на всех целых секциях будет одинаковым, а напряжение на секции с замкнутыми витками соответственно несколько меньше.

Для реализации этого способа обмотку статора подключают к источнику трехфазного напряжения такой величины, при которой ток в этой обмотке не превысит его номинальное значение. Замер напряжения каждой его секции осуществляется с помощью вольтметра, подключаемого выводам секций при снятой с них изоляции. Иногда в электрических машинах вместо снятия изоляции обмотки статора используется менее травматичный прокол изоляции в межсекционных перемычках. Для чего применяют специальный измерительный щуп. Следует добавить, что этот способ можно использовать для поиска поврежденной секции в фазной обмотке ротора.

Этот способ прост в реализации. Однако его практически невозможно использовать в машинах с всыпными обмотками, так как в них, как правило, межсекционные соединения скрыты. В то время в высоковольтных машинах возникает проблема качественного восстановления целостности изоляции в местах ее прокола на машинах высокого напряжения.

Этого можно избежать, если воспользоваться простым способом, изложенным в [8], а его реализация приведена на рисунке 2. Это способ

поиска секции с замкнувшимися витками основан на измерении изменения конфигурации вращающегося магнитного поля вдоль воздушного зазора электрической машины. Для его реализации электрическая машина разбирается, а ее ротор вынимается и статора. Затем в этом статоре создают вращающееся магнитное поле. Для этого на обмотку статора подают трехфазное напряжение. Его величину выбирают таким, чтобы ток в обмотке статора не превышал номинальный. С этой целью обычно в качестве источника питания применяют либо один трехфазный понижающий трансформатор, либо три одинаковых однофазных понижающих трансформатора.

Для поиска поврежденной секции на внутренней поверхности магнитопровода статора помещают небольшой стальной шарик, например, от подшипника качения. Если обмотки статора исправны, то образованное током в них вращающееся магнитное поле равномерно. В этом случае шарик будет катиться равномерно по внутренней поверхности магнитопровода. Если одна из обмоток имеет ВЗ, то ток в замкнувшихся витках дополнительно к вращающему полю создает свое локальное пульсирующее с частотой 50 Гц. В связи с этим шарик остановится в месте расположения поврежденной секции. Если этого не происходит, то напряжение питания статора следует повысить. Однако в этом случае для предотвращения перегрева обмоток статора следует ограничивать время проверки.

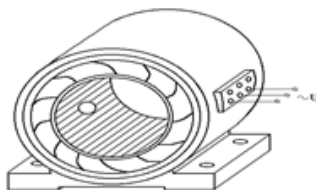


Рисунок 2 – Расположение элементов при определении поврежденной секции с помощью шарика

Кроме того, следует учитывать, что шарик с приличной скоростью может выскочить из корпуса электрической машины. Для предотвращения этого корпус электрической машины следует уложить на поверхность стола лобовой частью, а во внутреннюю полость сердечника статора

поместить опору для шарика в виде круга, например, из картона. В этом случае под воздействием собственного веса и магнитного поля статора шарик будет катиться по этому кругу, не вылетая за пределы электрической машины.

Недостатком этого способа поиска поврежденной секции является то, что он не позволяет точно определить пазы, в которые расположена поврежденная секция.

Достаточно совершенным и чувствительным способом выявления поврежденной секции обмотки статора являются способ, по которому работает выпускаемый промышленностью аппарат типа ЕЛ-1 [9]. Работа этого аппарата основана на измерении магнитного поля короткозамкнутых витков датчиком магнитного поля, который устанавливается на два зубца у одного из торцов сердечника статора. Это магнитное поле создается током в этих витках. В свою очередь ток в короткозамкнутых витках возникает под воздействием на них магнитного поля электромагнитного индуктора. Это индуктор устанавливается на те же два зубца, но у другого торца сердечника статора.

Схема устройства для реализации этого способа приведена на рисунке 3, где 1 и 2 – зубцы сердечника статора; 3 – паз сердечника статора; 4 – секция обмотки статора; 5 – индуктор магнитного поля; 6 – датчик магнитного поля; 7 – источник переменного тока; 8 – цифровой вольтметр.

Индуктор 5 магнитного поля представляет собой П-образный сердечник из ферромагнитного материала, на который наматывается обмотка. При диагностировании обмотки статора он устанавливается на два соседних зубца его сердечника. При подаче на его обмотку напряжения от источника 7 переменного тока в магнитной системе из сердечника статора, двух его зубцов и сердечника электромагнитного индуктора возникает магнитный поток  $\Phi$ .

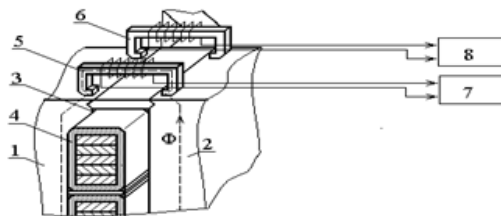


Рисунок 3 – Схема устройства для определения места расположения поврежденной секции

Датчик 6 магнитного поля также выполнен в виде П-образного сердечника из ферромагнитного материала, на который наматывается обмотка. Эта обмотка подключается на вход цифрового вольтметра. При диагностировании обмотки статора он устанавливается на те же зубцы.

В результате, если диагностируемая секция 4 не имеет замкнувшихся витков, то ток в ее витках возникающий под воздействием магнитного потока  $\Phi$  от индуктора 5 магнитного отсутствует. В результате магнитное поле от витков секции, а, следовательно, напряжение на выходе обмотки датчика 6 магнитного поля будут равны нулю.

Если в диагностируемой секции имеются замкнувшиеся витки, то в этих витках под воздействием магнитного потока  $\Phi$  от индуктора 5 магнитного поля появится ток. Этот ток создает поле, которое измеряется датчиком 6 магнитного поля. При этом на его выходе появится напряжение, о наличии которого проинформирует цифровой вольтметр 8.

Недостатком этого устройства является сложность реализации, вызванная наличием аксиальной составляющей магнитного поля в сердечнике статора от индуктора 5 магнитного поля. В связи с этим на выходе магнитного датчика 6 всегда имеется некоторое напряжение даже при отсутствии замкнувшихся витков в диагностируемой секции.

Однако такой способ определения места расположения поврежденной секции в обмотке статора оказался настолько удачным, что был использован в автоматических устройствах для испытания межвитковой изоляции и для выявления короткозамкнутых витков в обмотках статоров электрических машин [10; 11].

Несколько иначе построен способ выявления короткозамкнутых витков в обмотке статора электрических машин приведенный в [12].

Устройство для реализации этого способа содержит индукторы магнитного поля для индуктирования ЭДС в обмотке статора, датчики магнитного поля с П-образными сердечниками и индикатор, подключаемый к катушкам датчиков магнитного поля. Электрическая схема предлагаемого устройства и конструкция датчика магнитного поля приведены на рисунках 6,а и 6,б соответственно.

Источник переменного тока 1 питает систему из индукторов 2, 3 и 4 магнитного поля, которые индуктируют ЭДС в обмотке статора. Индуктор 4 магнитного поля предназначен для выравнивания электромагнитное поле вблизи обмотки 5 статора, которое создается индукторами 2 и 3 магнитного поля. Такое расположение индукторов магнитного поля позволяет получить ЭДС в короткозамкнутом витке, которая будет не зависеть от расположения этого витка в обмотке.

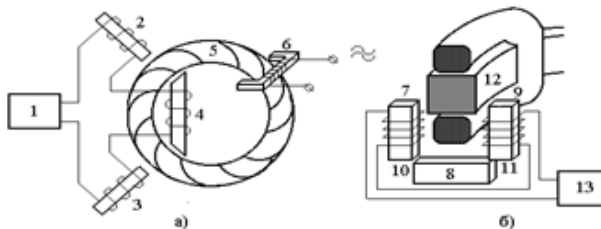


Рисунок 6 – Электрическая схема устройства для определения поврежденной секции и конструкция датчика магнитного поля

П-образный сердечник датчика 6 магнитного поля имеет сложную магнитную систему. Он состоит из трех ферромагнитных стержней 7, 8 и 9. Кроме того, эта магнитная система имеет два регулируемых воздушных зазора 10 и 11. Эти воздушные зазоры позволяют компенсировать влияние зазоров между сердечником статора 12, а также стержнями 7 и 9. Обмотки 13 и 14 соединяются согласно – последовательно. Такая конструкция в датчике 6 магнитного поля позволяет получить ЭДС на его выходе его обмотки, которая не будет зависеть от места расположения замкнувшегося витка. В этом случае количество короткозамкнутых витков в секции можно определить по величине этой ЭДС, которая замеряется вольтметром 13.

Недостатком этого устройства для выявления короткозамкнутых витков в обмотке статора является сложность конструкции и реализации, а

также невозможность использования на электрических машинах с недостаточно точно изготовленной лобовой части, имеющей малый вылет.

В некоторой степени этих недостатков лишено устройство для контроля качества обмоток статора и фазного ротора электрических машин [13], электрическая схема которого приведена на рисунке 7.

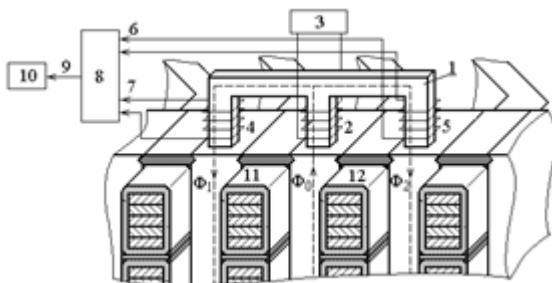


Рисунок 7 - Электрическая схема устройства для определения поврежденной секции и конструкция датчика магнитного поля

В этом устройстве для определения короткозамкнутых витков обмоток электрических машин измерительный элемент выполняют в виде Ш-образного магнитопровода 1 с обмотками. Его выполняют из ферромагнитного материала. Обмотка 2 возбуждения располагается на среднем стержне магнитопровода. Она подключается к источнику переменного тока 3. Сигнальная обмотка содержит две одинаковые катушки 4 и 5 намотанные на крайние стержни. Выводы этих катушек подключается к входам 6 и 7 схемы сравнения 8 двух электрических величин, на выход 9 которой подключается вольтметр 10.

Это устройство для определения короткозамкнутых витков обмоток электрических машин работает следующим образом. Для проверки целостности обмотки статора электрическая машина отключается от сети и разбирается с выемом ротора. В этом случае ток в элементах обмотки статора отсутствует. При подключении обмотки 2 возбуждения магнитопровода к источнику 3 переменного тока в элементах сердечника статора возникает магнитный поток  $\Phi$ . В Ш-образном магнитопроводе 1 он разделяется на одинаковые магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . И если секции 11 и 12 обмотки статора не повреждены, то ЭДС индуцируемые в катушках 4 и 5

магнитными потоками и будут одинаковыми. Следовательно, напряжения на входах 6 и 7 схемы сравнения 8 также будут одинаковы, а напряжение, показываемое вольтметром 10, будет равно нулю.

Если, например, секция 11 обмотки статора повреждена, то в ее замкнутых витках магнитным потоком будет индуцироваться ЭДС, под действием которой в этих витках возникнет ток. Этот ток создает локальный магнитный поток, который накладывается на магнитный поток. В этом случае ЭДС индуцируемые в катушках 4 и 5 магнитными потоками и будут не одинаковыми. Следовательно, напряжения на входах 6 и 7 схемы сравнения 8 также будут не одинаковы, а вольтметр 10 покажет наличие напряжения.

Аналогичным образом осуществляется поиск секции с замкнутыми витками в обмотке фазного ротора асинхронного двигателя.

Как известно шаг по пазам статоров различных электрических машин различен. В связи с этим основным недостатком этого устройства для выявления короткозамкнутых витков в обмотке статора является сложность в изготовлении такой конструкции Ш-образного магнитопровода, с помощью которой можно было бы диагностировать электрические машины с различной величиной шага по пазам.

### **Результаты и обсуждение**

Использование высокочувствительных защит от ВЗ, как правило, приводит к тому, что размер повреждения обмотки статора при ВЗ не выходит за пределы одной секции. При этом часто достаточно часто образуются секции со «скрытым» повреждением.

Анализ рассмотренных методов поиска поврежденной секции со «скрытым» повреждением в трехфазных обмотках показал, что окончательный выбор метода в каждом конкретном случае зависит от его возможностей и сложности его реализации.

### **Выводы**

При отключении высокочувствительной защиты от ВЗ часто образуются секции со скрытыми секциями. Для того чтобы определить секции со скрытыми повреждениями существуют методы. В статье приводится обзор существующих методов, дается краткий анализ достоинств и недостатков.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Петров, Г. Н.** Электрические машины. Ч. 2. Асинхронные и синхронные машины. – М. – Л. : Энергия, 1968. – 224 с.
- 2 **Вольдек, А. И.** Электрические машины. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
- 3 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электрические машины. – М. : Энергия, 1980. – 909 с.
- 4 **Корогодский, В. И., Кужеков, С. Л., Паперно, Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.
- 5 **Ермолин, Н. П., Жерихин, И. П.** Надежность электрических машин. – Л. : Энергия, 1976. – 247 с.
- 6 **Виноградов, Н. В.** Обмотчик электрических машин. – М. : Высшая школа, 1973. – 344 с.
- 7 **Деро, А. Р.** Неполладки в работе асинхронного двигателя. – Л. : Энергия, 1976. – 97 с.
- 8 Как проверить состояние обмотки электрического двигателя [текст] [Электронный ресурс] – URL: – <https://remontka.com/1044-kak-proverit-sostoyanie-obmotki-elektricheskogo-dvigatelya/?ysclid=lqq53t04ei978513270>
- 9 Прибор для проверки обмоток электрических аппаратов и машин [текст] [Электронный ресурс] – URL: – <https://www.samarapribor.ru/main/el-15.html>.
- 10 А. С. № 597993. СССР. Автоматическое устройство для испытания межвитковой изоляции и выявления короткозамкнутых витков в обмотках статоров электрических машин / Бакрадзе, Г. Г., Каджая, М. М., Тедошвили, Р. В., Эбралидзе, Р. В.; опубл 05.03.1978., Бюл № 10 – 5с.
- 11 А. С. № 1071977. СССР. Устройство для испытания межвитковой изоляции обмоток статоров электрических машин / Зедгинидзе, Т. Г., Ноникашвили, Д. А., Ткешелашвили, З. А., Чачанидзе, О. В., Читишвили, К. М., Эбралидзе, Р. В.; опубл 07.02.1984., Бюл № 5 – 7с.
12. А. С. № 182795. СССР. Устройство для выявления короткозамкнутых витков / Буневичус, Б. А., Гинкас, М. Л., Альперавичус, Х. А.; опубл 09.06.1966., Бюл № 12 – 4с.

13 А. С. №501367. СССР. Устройство для определения короткозамкнутых витков обмоток электрических машин / Горбачевский, В. В., Иванов, В. В., Милоков, А. И.; опубл 30.01.1976., Бюл. №4 - 5с.

## REFERENCES

1 **Petrov, G. N.** Elektricheskie mashiny. CH.2. Asinhronnye i sinhronnye mashiny [Electric machines. Part 2. Asynchronous and synchronous machines] – Moscow – L. : Energiya, 1968. – 224 p.

2 **Vol'dek, A. I.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] – L. : Energiya, 1978. – 832 p.

3 **Ivanov-Smolenskij, A. V.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] – Moscow: Energiya, 1980. – 909 p.

4 **Korogodskij, V. I., Kuzhekov, S. L., Paperno, L. B.** Relejnaya zashchita elektrodvigatelej napryazheniem vyshe 1000 V [Relay protection of electric motors with a voltage above 1000 V]. – Moscow : Energoatomizdat, 1987. – 248 p.

5 **Ermolin, N. P., ZHerihin, I. P.** Nadezhnost' elektricheskikh mashin [Reliability of electric machines]. – L. : Energiya, 1976. – 247 p.

6 **Vinogradov, N. V.** Obmotchik elektricheskikh mashin [The winder of electric machines]. – Moscow : Vysshaya shkola, 1973. – 344 p.

7 **Dero, A. R.** Nepoladki v rabote asinhronnogo dvigatelya [Malfunctions in operation of an asynchronous motor]. – L.: Energiya, 1976. – 97 p.

8 Kak proverit' sostoyanie obmotki elektricheskogo dvigatelya [How to check the winding condition of an electric motor] [Electronic resource]. – URL: <https://remontka.com/1044-kak-proverit-sostoyanie-obmotki-elektricheskogo-dvigatelya/?vsclid=lqg53t04ei978513270> [Text].

9 Pribor dlya proverki obmotok elektricheskikh apparatov i mashin [A device for checking the windings of electrical devices and machines] [Electronic resource]. – URL: <https://www.samarapribor.ru/main/el-15.html> [Text].

10 А. С. № 597993. SSSR. Avtomaticheskoe ustrojstvo dlya ispytaniya mezhvitkovoј izolyacii i vyyavleniya korotkozamknytyh vitkov v obmotkah statorov elektricheskikh mashin [An automatic device for testing inter-turn insulation and detecting short-circuited turns in stator windings of electric

machines] / Bakradze, G.G., Kajaya, M.M., Tedoshviline, R.V., Ebralidze, R.V.; opubl 05.03.1978., Byul № 10 – 5p.

11 A. S. № 1071977. SSSR. Ustrojstvo dlya ispytaniya mezhvitkovoj izolyacii obmotok statorov elektricheskikh mashin [A device for testing inter-turn insulation of stator windings of electric machines] / Zedginidz, T. G., Nonikashvili, D. A., Tkeshelashvili, Z. A., Chachanidze, O. V., Chitishvili, K. M., Ebralidze, R.V.; opubl 07.02.1984., Byul № 5 – 7p.

12 A. S. № 182795. SSSR. Ustrojstvo dlya vyyavleniya korotkozamknutykh vitkov / Bunevichus, B.A., Ginkas, M.L., Al'peravichus, H.A [A device for detecting short-circuited coils / Bunevicius, B.A., Ginkas, M.L., Alperavicius, H.A]; opubl 09.06.1966., Byul № 12 – 4p.

13 A. S. №501367. SSSR. Ustrojstvo dlya opredeleniya korotkozamknutykh vitkov obmotok elektricheskikh mashin [A device for determining short-circuited coils of windings of electric machines] / Gorbachevsky, V. V., Ivanov, V. V., Milyukov, A. I; opubl 30.01.1976., Byul. №4 – 5p.

Поступило в редакцию 25.04.24.

Поступило с исправлениями 30.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

*\*А. Н. Новожиллов, Д. К. Имангазинова*

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

25.04.24 ж. баспаға түсті.

30.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

### **ҮШ ФАЗАЛЫ ОРАМАЛАРДАҒЫ ЗАҚЫМДАЛҒАН БӨЛІМДІ ІЗДЕУ ӘДІСТЕРІ**

*Үш фазалы айнымалы ток электр машиналарының айрықша ерекшелігі статор мен фазалық ротордың біркелкі жұмыс істеуі болып табылады. Бұл жағдайда мұндай сезімталдығы жоғары электр машиналарының статордың немесе фазалық ротордың орамаларында бұрылыс ақауларынан қорғаныс арқылы ажыратылуы көп ретте «жасасырын» зақымданған секцияның*

*пайда болуына алып келеді. Жұмыста статор мен ротор орамаларының «жасырын» зақымдалуы бар секцияларды анықтаудың барлық танымал әдістері талқыланады.*

*Олардың маңызды бөлігі статор және фазалық ротор орамаларында зақымдалған учаскені іздеу әдістеріне жатады, онда зақымдану диагностикалық белгісі күңгірттенген, күйген немесе күйген оқшаулау болып табылады. Сонымен қатар, бұл диагностикалық белгі токтардың әсерінен электр машинасының жұмысы кезінде де, оған арнайы құралдарды қосу арқылы диагностикалық процесс кезінде де пайда болуы мүмкін.*

*Әдістердің тағы бір бөлігі статор мен фазалық ротордың орамаларында зақымдалған учаскені іздеу үшін магнит өрістерін қолдануға негізделген, ол зақымдалған секцияның тұйықталған бұрылыстарында өзінің жергілікті магнит өрісін тудыратын тоқты индукциялайды. Сонымен бірге бұл магнит өрістерінің орналасқан жерін анықтау әртүрлі тәсілдермен жүзеге асырылады. Осыған байланысты жұмыста барлық осы әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері бағаланады.*

*Кілтті сөздер. Электр машиналары, үш фазалы орамдар, қысқа тұйықталу, «жасырын» зақымдану, зақымдалған бөлікті іздеу.*

*A. N. Novozhilov, D. K. Imangazinova*

*Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.*

*Received 25.04.24.*

*Received in revised form 30.04.24.*

*Accepted for publication 02.06*

## **METHODS OF SEARCHING FOR A DAMAGED SECTION IN THREE-PHASE WINDINGS**

*A distinctive feature of three-phase AC electrical machines is the identical design of stator and phase rotor. When such electrical machines are switched off by highly sensitive protection against turn faults in the*

*windings of the stator or phase rotor, a section with “hidden” damage is often formed in this case. The work discusses all the most well-known methods for identifying sections with “hidden” damage to the stator and wound rotor windings.*

*A significant part of them relates to those methods of searching for a damaged section in the stator and phase rotor windings, in which diagnostic sign of damage is darkened, charred or burnt insulation. Moreover, this diagnostic sign can arise under the influence of currents both during the operation of electrical machine and during the diagnostic process by connecting special means to it.*

*Another part of methods is based on use of magnetic fields to search for a damaged section in the windings of stator and phase rotor, which induce a current in closed turns of the damaged section that creates its own local magnetic field. At the same time, determining the location of these magnetic fields is carried out in different ways. In this regard, the work evaluates advantages and disadvantages of all these methods.*

*Keywords: Electrical machines, three-phase windings, turn faults, «hidden» damage, search for a damaged section.*

FTMAP 621.315:592

<https://doi.org/10.48081/IBLD5538>

**\*Б. Онгар<sup>1,2</sup>, Ж. К. Бекболатова<sup>1</sup>, Ә. Р. Қарасаева<sup>2</sup>, М. А. Турғанбаев<sup>2</sup>, Е. Е. Сеитбек<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы, қ.

<sup>2</sup>Логистика және көлік академиясы,

Қазақстан Республикасы, Алматы, қ.

\*e-mail: [b.ongar@satbayev.university](mailto:b.ongar@satbayev.university)

## **ҮШ ДЕҢГЕЙЛІ КЕРНЕУ ТҮРЛЕНДІРГІШІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ**

Бұл мақалада үш деңгейлі кернеу түрлендіргіші, активті-индуктивті және қозғалтқыштағы инвертор жұмысын математикалық модельденуі қарастырылады. Мақаланың негізгі мақсаты үш деңгейлі кернеудің математикалық сипаттамасын жасау болып табылады. Сонымен қатар, үш фазалы инверторлардағы тұрақты ток кернеуі мен ток толқынының егжей-тегжейлі талдауын ала отырып, ең аз тұрақты ток конденсаторын қарастыру. Мақаланың жаңалығы ретінде кеңістік-векторлық алгоритмі әзірленіп, кірістегі кернеуді реттейтін импульстік үш деңгейлі кернеу түрлендіргішінің конденсаторларын математикалық модельдің жасау. Осы мақсатта үш деңгейлі кернеу түрлендіргішіне көптеген есептеулер жүргізе отырып, шығыс кернеуінің модуляция жиілігіне шектеулер қарастырылады.

Жартылай өткізгішті ажыратқыштардың көптігіне және басқарудың күрделілігіне қарамастан, жоғары кернеулер мен қуаттарда олар шығыс кернеуінің жоғары сапалы көрсеткіштерін көрсетеді. Мұндай түрлендіргіштердің артықшылығы мынада, кернеу ажыратқыштар арасында бөлінеді және жоғары кернеу үшін бір қосқышты таңдаудың орнына, жоғары коммутация

*жүйелігімен жұмыс істей алатын төменгі кернеу үшін бірнеше рет алуға болады.*

*Есептерді шешу үшін функцияларды ауыстыру әдістері, гармоникалық талдау әдістері, электр тізбегіндегі статикалық процестерді есептеудің аналитикалық әдістері, дифференциалдық және интегралдық теңдеулерді шешудің сандық әдістері қолданылды. Алынған теориялық нәтижелер мен аналитикалық байланыстардың сенімділігі MathCad және MATLAB пакеттері арқылы есептеулер арқылы тексерілді.*

*Кілтті сөздер: Түрлендіргіш, инвертор, конденсатор, автономды, импульс.*

### **Кіріспе**

Инвертор құрылғылары әртүрлі салаларда қолданылады. Көп жағдайда бұл классикалық схемаларға сәйкес жұмыс істейтін бір фазалы құрылғылар. Дегенмен, асинхронды қозғалтқышты аккумулятордан электрмен қамтамасыз ету немесе нақты қажеттіліктер үшін жай үш фазалы ток алу қажет болған жағдайларда туындайды. Ал мұнда тұрақты токты қажетті сипаттамалары бар үш фазалы айнымалы токқа түрлендіретін электронды басқарылатын қосқыштардың саны көбейген үш фазалы инвертор көмекке келеді.

Үш фазалы инверторлардың ауқымы өте үлкен, ал кейбір жағдайларда оларсыз істеу мүмкін емес. Модификацияланған заманауи үш фазалы инвертор құрылғыларын пайдаланған кезде қозғалтқышты басқару әлдеқайда тиімді болады. Олар бір және үш фазалы асинхронды қозғалтқыштармен, коммутатор қондырғыларымен, сондай-ақ үш фазалы тұрақты ток қозғалтқыштарымен жалпы схемаға енгізілген.

Қазіргі уақытта бірыңғай энергетикалық жүйемен қамтылмаған Алматының кейбір аймақтарында электрлендіру мәселесі негізінен дизельдік электр станцияларын (ДЭС) пайдалану арқылы шешілуде. Соның ішінде №13 су соратын дизельді электр станциясы орнатылған. Сонымен қатар, дизельдік және бензин қондырғыларының шамамен жартысы жұмыс істемейді, бұл жанармай жеткізудегі үзілістерге және оны жеткізу бағасының жоғары болуына байланысты. Дизельдік электр станцияларының оңтайлы емес жұмыс режимдері және қымбат отын

өндірілген электр энергиясына жоғары тарифтерді анықтайды, оны жергілікті тұрғындар бюджеттен қомақты қаржыландыру жағдайында ғана төлей алады [1, 2354-6; 2, 9008-6; 3, 420-6]. Жаңартылатын энергия көздеріне (күн, жел және т.б.) негізделген автономды электрмен жабдықтау жүйелерінің (АЭЖЖ) маңыздылығы өзекті болып арта түсуде. Дегенмен, қашықтағы объектілерді қуаттандыру кезінде ең маңызды болып табылатын желіге қосылмай АЭЖЖ жұмыс істейтін жартылай өткізгішті түрлендіргіштерді жобалау кезінде қосымша қиындықтар туындайды. Негізгі мәселе болып – бос жүріс режимінде төмен жүктемеде және тұрақты тоқтың кернеуін арттыру болып келеді. Осы жағдайда электромагниттік процестер және үш фазалы энергетикалық сипаттамалары үшін үш деңгейлі кернеу түрлендіргіш инверторы және ұлғайтылған инвертор топологиясын әзірлеуге болады.

### **Материалдар және әдістер**

Үш фазалы кернеу түрлендіргішінің ең қарапайым және кең таралған тізбегі үш жартылай көпірлі бір фазалы кернеу түрлендіргіштерін жалпы кіріс кернеу көзіне біріктіру арқылы алынады, ал үш фазалы жүктеменің фазаларын нөлсіз жұлдызшаға немесе үшбұрышша қосқан болса, 1-суретте көрсетілгендей кіріс кернеу көзінің ортаңғы нүктесі қажет емес болады [4, 680-6; 5, 50-6.].

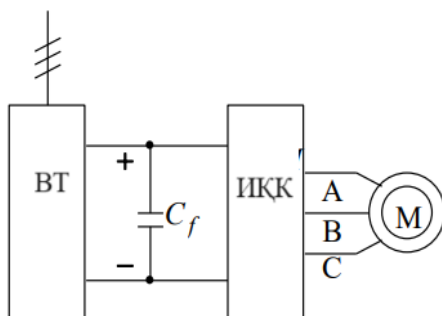
Қазіргі уақытта импульстік ені модуляция және алгоритмдері кеңістік векторының импульс енінің модуляциясы синусоидалы (классикалық) алгоритмдер қолданылады. Импульс енін модуляциялаудың әртүрлі әдістеріне қол жеткізу үшін келесілерді қарастыруға болады:

- коммутациялық шығындарды азайту;
- шығыс кернеуінің гармоникалық коэффициентінің төмендеуі;
- іске асырудың қарапайымдылығы;
- қысқа есептеу уақыты.

Заманауи айнымалы жиілікті жетек жүйелерінде аралық тұрақты ток тізбегі бар жиілік түрлендіргіштері (ЖТ) және автономды инверторлар қолданылады. Қозғалтқыш тиристорлы инверторлардан қуат алған кезде асинхронды қозғалтқышты векторлық басқару жүйесін енгізу ерекшеліктері әр түрлі оқулықтарда егжей-тегжейлі талқылады. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш негізінде салынған электр жетек жүйелері



және транзисторлық автономды кернеу түрлендіргіші (АКТ), оның қуат бөлігінің жеңілдетілгенін 1 суреттегі сұлбадан көруге болады.



Сурет –1 Электр жетегінің қоректендіру сұлбасы

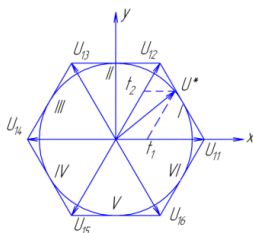
Вентильді түрлендіргіш (ВТ), сәйкес трансформатор арқылы желіден қуат алады немесе сыйымдылық  $C_f$  сүзгісі бар анодты реакторлар тұрақты ток желісіне жүктелген. Жүктеме аралық тұрақты ток транзистор болып келеді және оны қуаттың негізгі элементтерінің толық басқарылуының арқасында импульстік қуат күшейткіші (ИҚК) деп атауға болады. АҚ статор орамасы инверторға қосылған [5, 56-б.].

Төмен қуатты жетектерде (15-ке дейін...20 кВт) әдетте басқарылмайтын вентильді түрлендіргіш (ВТ) қолданылады, соның арқасында жиілік түрлендіргіштері (ЖТ) қоректендіру желісіне қатысты максималды қуат коэффициентін иеленеді ( $\cos$  тогының бірінші гармоникасы үшін). Мұндай шешім энергияны желіге қалпына келтірудің мүмкін еместігімен байланысты, сондықтан қозғалтқыштың генераторлық тежеу режимдерін жүзеге асыру үшін айналмалы массалардың кинетикалық энергиясын «ағызу» үшін арнайы балласт резисторының тұрақты ток буынына уақытша қосу қарастырылуы керек. Неғұрлым қуатты электр қабылдағыштарда және тежегіш режимдерінде электр жетегінің ұзақ жұмыс істеуі қажет болған жағдайда реттеудің және инверттеудің ең аз бұрыштарымен жұмыс істейтін, бөлек басқарылатын реверсивті вентильді түрлендіргіштер қолданылады. Балласт резисторының қосылуын немесе кері вентильді түрлендіргішінің түзеткіш жиынтықтарын

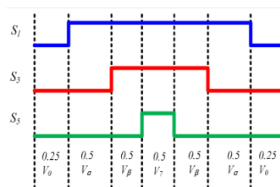
басқару тұрақты ток буынындағы кернеу функцияларында жүзеге асырылады [6, 2121-б. 7, 6117-б. 8, 5176-б.].

### Нәтиже және талқылау

Бұл мақалада аэроғарыш, электромобильдер және сорғы құрылғылары сияқты электр жетектерінде қолданылатын үш фазалы инверторлардың математикалық құрылымы мен талдауы зерттеледі. Инверторды әзірлеу кезінде әртүрлі WBG жартылай өткізгіш технологиялары ескеріледі. Содан кейін SiC құрылғыларының жетек қосымшаларындағы артықшылықтарын бағалау үшін дәстүрлі Si IGBT және SiC MOSFET көмегімен стандартты екі деңгейлі инверторлары бар екі синхронды реактивті қозғалтқыш жетек жүйесі жасалады. Сонымен қатар, екі жетек жүйесі үшін де импульстік-ендік басқарылатын инверторлардың (ИБИ) қуатының жоғалуы бағаланады және зерттеледі. Бұл мақалада тұрақты ток тізбегіндегі кернеу мен токтың толқындарын толық талдау кіреді. Сонымен қатар, ток пен кернеудің пульсациясына төтеп беру үшін қажетті тұрақты токтың минималды конденсаторы бағаланады. Соңында, SynRM үш фазалы жетегінің өнімділігі әртүрлі жұмыс жылдамдықтары мен жүктемелерде эксперименталды түрде бағаланады.



a)



б) Сурет – 1 (а) үш фазалы түрлендіргішке арналған алтыбұрыш және (б) бірінші сектордағы бір циклдегі үздіксіз импульс енін басқару үшін коммутация тізбегі [6, 2130-б.]

Тиімділікті машинаның мыс пен темірдің жоғалуын, сондай-ақ инвертордың ауысуы мен өткізгіштігінің жоғалуын қамтитын есептелген шығыс қуатын және жалпы есептелген шығынды пайдалану арқылы анықтау оңай. Бұл салыстыру кезінде механикалық шығындар ескерілмейді [9, 1426-б.].

Сондай ақ 2 суреттегі сұлбадан инвертор кілттерінің комбинацияларының санын санауға болады:

$$n_k = n^3 \quad (1)$$

Шектейтін диодтары бар сұлба бойынша жасалған түрлендіргіштің артықшылықтары:

- басқа тізбектермен салыстырғанда түрлендіргіштің құнына әсер ететін конденсаторлар саны аз қолданылады;

- қосылу бір тұрақты ток көзіне өтеді.

Әрбір тізбекті басқалардан тәуелсіз қарастыруға болады. Бұл конденсаторлардағы кернеуді теңестіру үшін бүкіл үш фазалы жүйедегі процестерді қарастыратын шектеулі диодты түрлендіргіштен айтарлықтай айырмашылы [10, 102-б.; 11, 260-б.].

Тағы бір маңызды кемшілік – конденсаторлардың көп мөлшері, бұл түрлендіргіштің құнын арттырады.

(2, а суретке) сәйкес диаграмма салуға болады, бұл комбинациялар базалық векторлармен көрсетілген, соның арқасында шығыс кернеуі қалыптасады. Нөлдік векторлар диаграммада көрсетілмеген, өйткені олар жүктемеде нөлдік кернеуді құрайды және бұл векторлардың ұзындығы нөлге тең.

Тұрақты ток буынының конденсаторын таңдағанда, кернеудің максималды пульсациясын ескеру қажет, әсіресе конденсатордың эквивалентті сериялық кедергісі төмен болған кезде, демек, ток пульсациясынан туындаған жүктемені басқару үшін конденсатордың кіші мәні жеткілікті. Көп деңгейлі түрлендіргіш үшін тұрақты ток конденсаторының кернеу пульсациясын азайту әдістері сілтемелерде талқыланады [12, 242-б.; 13, 261-б.; 14, 149-б.] сілтемесінде параллель диодтардың кері қалпына келуін ескере отырып, жиілік

түрлендіргіштерінің тұрақты ток буынындағы кернеудің пульсациясын есептеу көрсетілген.

### **Қорытынды**

Қазіргі уақытта көп деңгейлі кернеу түрлендіргіштерінің көптеген тізбектері белгілі. Кернеуі 1кВ-қа дейінгі үш деңгейлі түрлендіру үшін шектеулі диодтары бар түрлендіргіш тізбегі ең қолайлы, өйткені тек бір тұрақты ток көзі қажет, басқа тізбектермен салыстырғанда қолданылатын конденсаторлардың саны аз, сондықтан мұндай схемада жасалған түрлендіргіш арзан болады, өлшемдері мен массасы бойынша аз болады. Импульстік-ендік басқарылатын инверторлардың (ИБИ) үш фазалы жетегінің өнімділігі әртүрлі жұмыс жылдамдықтары мен жүктемелерде сыналды. Бұл мақалада тұрақты ток тізбегіндегі кернеу мен ток пульсациясын мұқият бағалау да қамтылған. Сонымен қатар, ток пен кернеудің пульсациясын қарымталау үшін қажетті тұрақты токтың минималды конденсаторы есептелді.

### **ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **Торрес, Р. А., Дай, Х., Джанс, Т. М., Сарлиоглу, Б.** Работа и анализ инверторов тока с использованием двухзатворных четырехквadrантных широкозонных силовых ключей. // В материалах Конгресса и выставки IEEE по преобразованию энергии (ECCE), Балтимор, Мэриленд, США, 29 сентября – 3 октября, 2019 г., – С. 2353–2360.

2 **Ахмед, MR, Годд, Р., Форсайт, А. Дж.** Прогнозирование поведения SiC MOSFET в условиях жесткого, мягкого переключения и ложного включения. // IEEE Транс. Силовой электрон. – 2017., 64. – 9001–9011.

3 **Ян, Ф., Ван, Л., Конг, Х., Чжу, М., Лю, Х., Лу, Х., Цинь, М., Чжан, Т., Ган, Ю., Цзя, Л.** Метод компактной компоновки силового модуля с динамическими характеристиками 4H-SiC MOSFET и разработка силового электронного преобразователя при чрезвычайно высокой температуре перехода. // IEEE Транс. Силовой электрон. – 2023. 38. 417–434.

4 **Аррози, Дж., Реганса, Д. В., Дуарте, Ильхан J. L., Карлс, Э., Хьюсман, Х.** Влияние мертвого времени на пульсации входного тока трехфазного инвертора напряжения. // Energy 2023 , – 16.– 688.

5 **Гельман, М.В.** Схемотехника преобразователей с высокими энергетическими показателями: учебное пособие / М.В. Гельман, М. М. Дудкин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 103 с.

6 **Котб Б. Тавфик, Арафа С. Мансур және Питер сержант.** [Үш фазалы инверторлардың математикалық дизайны және талдауы: кең жолақты жартылай өткізгіштердің әртүрлі технологиялары және DC-Link конденсаторларын таңдау]. Математика 2023, 11, 2137. <https://doi.org/10.3390/math11092137>

7 **Танака, Т., Ван, Х., Блаабьерг, Ф.** Метод уменьшения пульсаций напряжения на конденсаторе звена постоянного тока для модульного многоуровневого каскадного преобразователя с одиночными ячейками моста типа «треугольник». IEEE Транс. Индийское прил. 2019 , 55 , 6115–6126.

8 **Го, Дж., Йе, Дж., Эмади, А.** Анализ пульсаций тока и напряжения в цепи постоянного тока с учетом обратного восстановления антипараллельных диодов в инверторах источника напряжения. IEEE Транс. Силовой электрон. 2018 , 33 , 5171–5180.

9 **Leon M. Tolbert, Thomas G. Habetler.** Жаңа көпдеңгейлі инверторлы тасымалдаушыға негізделген PWM әдістері. IEEE IAS 1998 жыл сайынғы жиналысы, Сент-Луис, Миссури, 10-15 қазан, 1998 ж., 1424-1431 беттер.

10 **Jang-Hwan Kim, Seung-Ki Sul, Prasad N.** Көп деңгейлі төрт аяқты VSI үшін оңтайлы ауысу реттілігі бар тасымалдаушыға негізделген PWM әдісі. IAS 2005, 99-105 б.

11 **Соколовский, Г. Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Учебник. Москва : Academia, 2006 – 265 с.

12 **Герман-Галкин, С. Г., Кардонов, Г. А.** Электрические Машины. Лабораторные работы на ПК. Санкт-Петербург: Корона принт, 2003, 256 с.

13 **Герман-Галкин, С. Г.,** Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб.: Корона-Век, 2008, 368 с.

14 **Josep Pou.** Үш фазалы PWM көп деңгейлі түрлендіргіштерді модуляциялау және басқару. Каталония техникалық университеті, 2004, 205 б.

## REFERENCES

1 **Torres, R.A., Dai, H., Jahns, T. M., Sarlioglu, B.** Rabota i analiz inverterov toka s ispolzovaniem dvýchzatvornyh chetyrehkvadrantnyh shirokozonnnyh silovyh klúchei [Operation and analysis of current inverters using two-gate four-quadrant wide-gap power switches]. In Proceedings of the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Baltimore, MD, USA, September 29–October 3, 2019; P. 2353–2360.

2 **Ahmed, MR., Todd, R., Forsythe, A. J.** Prognozirovanie povedeniya SiC MOSFET v ýsloviyah jestkogo, mágkogo pereklyúcheniya i lojnogo vklúcheniya [Predicting SiC MOSFET behavior under hard, soft, and spurious switching conditions]. // IEEE Trans. Power electron. – 2017. 64, – 9001–9011.

3 **Yang, F., Wang, L., Kong, H., Zhu, M., Liu, X., Lu, H., Qin, M., Zhang, T., Gan, Y., Jia, L.** Metod kompaktnoi komponovki silovogo modýla s dinamicheskimi harakteristikami 4H-SiC MOSFET i razrabotka silovogo elektronnoogo preobrazovatelá pri chrezvychaino vysokoi temperatýre perehoda [Compact packaging method of power module with dynamic characteristics of 4H-SiC MOSFET and design of power electronic converter at extremely high junction temperature]. // IEEE Trans. Power electron. – 2023. 38. – 417–434.

4 **Arrosi, J., Retiansa, D.V., Duarte, J.L., Ilhan Karls, E., Huisman, H.** Vlianie mertvogo vremeni na púlsasú vhodnogo toka trehfaznogo invertora naprájeniya [Effect of dead time on the input current ripple of a three-phase voltage inverter]. // Energy 2023. 16. – 688.

5 **Gelman, M .V.** Shemotehnika preobrazovatelei s vysokimi energeticheskimi pokazatelámi: ýchebnoe posobie [Circuit design of converters with high energy performance]: textbook / M. V. Gelman, M. M. Dudkin. – Chelyabinsk : SUSU Publishing Center, 2013. – 103 p.

6 **Kotb B. Tawfiq, Arafa S.** Mansýr jáne Piter serjant. [Úsh fazaly inverterlardyń matematikalyq dizamy jáne taldaýy: keń jolaqty jartylaı ótkizgishterdiń ártúrli tehnologicalary jáne DC-Link kondensatorlaryn tańdaý]. [Mansour and Peter Sergeant. Mathematical Design and Analysis of Three-Phase Inverters : Different Wide Bandgap Semiconductor Technologies and DC-Link Capacitor Selection]. Mathematics 2023, 11, 2137. <https://doi.org/10.3390/math11092137>.

7 **Tanaka, T., Wang, H., Blaabjerg, F.** Metod ýmenshenia púlsasú naprájenia na kondensatore zvena postoiannogo toka dlá modýlnogo mnogoýrovneвого kaskadnogo preobrazovatelá s odinochnymi iacheikami mosta tupa «treýgolnik» [A method for reducing voltage ripple on the DC link capacitor for a modular multi-level cascade converter with single delta bridge cells]. // IEEE Trans. Indian adj. – 2019. 55. – 6115–6126.

8 **Guo, J., Yeh, J., Emadi, A.** Analíz púlsasú toka i naprájenia v sepi postoiannogo toka s ýchetom obratnogo vosstanovlenia antiparallelnyh diodov v invertorah istochnika naprájenia [Analysis of current and voltage ripple in a DC circuit taking into account the reverse recovery of antiparallel diodes in voltage source inverters]. IEEE Trans. Power electron. – 2018. 33. P. 5171–5180

9 **Leon M. Tolbert, Thomas G. Habetler.** Jaña kópdeñgeili invertorly tasymaldaýshyga negizdelgen PWM ádisteri [Novel Multilevel Inverter Carrier-Based PWM Methods]. // IEEE IAS 1998 Annual Meeting, St. Louis, Missouri, October 10-15. – 1998, P. 1424-1431.

10 **Jang-Hwan Kim, Seung-Ki Sul, Prasad N.** Kóp deñgeili tórt aiaqty VSI úshin óntaıly aýysý rettiligi bar tasymaldaýshyga negizdelgen PWM ádisi [Enjeti. A Carrier-Based PWM Method with Optimal Switching Sequence for a Multi-level Four-leg VSI]. IAS 2005, P. 99-105

11 **Sokolovsky, G. G.** Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym regýlrovaniem [AC electric drives with frequency regulation]. Textbook. Moscow : Academa, 2006 – 265 p

12 **German-Galkin, S. G., Kardonov, G. A.** Elektricheskie Mashiny. Laboratornye raboty na PK [Electric cars. Laboratory work on a PC]. St. Petersburg: Crown print, 2003. – 256 pp.

13 **Герман-Галкин, С. Г.** Matlab & Simulink. Proektirovanie mehatronnyh sistem na PK [Matlab & Simulink. Design of mechatronic systems on a PC]. St. Petersburg: Corona-Vek, 2008 – 368 p.

14 **Josep Pou.** Úsh fazaly PWM kóp deñgeili túrlendirishterdi modýlálalaý jáne basqarý [Modulation and Control of Three-phase PWM Multilevel Converters]. Technical University of Catalonia, 2004. – 205 p.

26.03.24 ж. баспаға түсті.

22.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

\*B. Ongar<sup>1,2</sup>, Zh. K. Bekbolatova<sup>1</sup>, A. R. Karasaeva<sup>2</sup>, M. A. Turganbaev<sup>2</sup>,  
Ye. Ye. Seitbek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>2</sup>Logistics of Zhane Kolik Academies, Republic of Kazakhstan, Almaty,

Received 26.03.24.

Received in revised form 22.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## MATHEMATICAL MODEL OF THREE-LEVEL VOLTAGE CONVERTER

*This article deals with mathematical modeling of three-level voltage converter, active-inductive and inverter operation in a motor. The main purpose of the article is to create a mathematical description of three-level voltage. In addition, we consider the minimum DC capacitor, taking a detailed analysis of DC voltage and current ripple in three-phase inverters. As a novelty of the article, a space-vector algorithm was developed and mathematical modeling of the capacitors of the three-level pulse voltage converter that regulates the input voltage. For this purpose, three-level voltage converter, carrying out many calculations, we consider the limitations of the modulation frequency of the output voltage.*

*Despite the large number of semiconductor switches and the complexity of control, at high voltages and powers they show higher quality indicators of the output voltage. The advantage of such converters is that the voltage is divided between the switches and instead of choosing one switch for a high voltage, you can take several for a lower voltage, which can operate with a higher switching frequency.*

*To solve problems, methods of substitution of functions, methods of harmonic analysis, analytical methods of calculating static processes in electrical circuits, numerical methods of solving differential and integral equations were used. The reliability of obtained theoretical results and analytical relations was checked by calculations using MathCad and MATLAB packages*

*Keywords: Converter, inverter, capacitor, autonomous, pulse.*



\*Б. Онгар<sup>1,2</sup>, Ж. К. Бекболатова<sup>1</sup>, Ә. Р. Қарасаева<sup>2</sup>, М. А. Турганбаев<sup>2</sup>,  
Е. Е. Сеитбек<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>2</sup>Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы,

Поступило в редакцию 26.03.24.

Поступило с исправлениями 22.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХУРОВНЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

*В статье рассмотрено математическое моделирование работы трехуровневого преобразователя напряжения, активно-индуктивного и инверторного в двигателе. Основная цель статьи – создание математического описания трехуровневого напряжения. Кроме того, мы рассмотрим минимальный конденсатор постоянного тока, проведя подробный анализ напряжения постоянного тока и пульсаций тока в трехфазных инверторах. В качестве новизны статьи разработан пространственно-векторный алгоритм и математическое моделирование конденсаторов трехуровневого импульсного преобразователя напряжения, регулирующего входное напряжение. Для этого в трехуровневом преобразователе напряжения, проведя множество расчетов, учтем ограничения частоты модуляции выходного напряжения.*

*Не смотря на большое количество полупроводниковых ключей, на сложность в управлении, при высоких напряжениях и мощностях они показывают более высокие показатели качества выходного напряжения. Плюс таких преобразователей в том, что между ключами происходит деление напряжения и вместо выбора одного ключа на высокое напряжение можно взять несколько на более низкое напряжение, которые могут работать с более высокой частотой коммутаций.*

*Для решения задач использовались методы замены функций, методы гармонического анализа, аналитические методы расчета*

*статических процессов в электрических цепях, численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений. Достоверность полученных теоретических результатов и аналитических соотношений проверена расчетами с использованием пакетов MathCad и MATLAB.*

*Ключевые слова: Преобразователь, инвертор, конденсатор, автономный, импульсный.*

МРНТИ 44.31.35

<https://doi.org/10.48081/DMBX3648>

**Е. В. Приходько, А. С. Никифоров, Н. М. Арипова,  
А. К. Кинжибекова, \*А. Е. Карманов**

*Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОГНЕУПОРОВ**

*В данной статье проводится анализ способов определения теплофизических коэффициентов огнеупорных материалов в зависимости от температуры и условий эксплуатации. Анализ показывает, что несмотря на значительное количество способов и устройств для определения коэффициента теплопроводности, получение данных для рассматриваемого вида огнеупора возможно только лабораторным путём.*

*Авторами был разработан и создан стенд для определения теплофизических свойств огнеупорных материалов, который позволяет одновременно определять предел прочности на сжатие и коэффициент теплопроводности огнеупорного материала при повышенных температурах.*

*В рамках разработанного метода были вычислены коэффициенты теплопроводности для образцов огнеупорного материала, используемого в футеровке разливочных ковшей на производстве ферросплавов, а именно – материала ШКУ-32. Повышение температуры сопровождается увеличением коэффициента теплопроводности, и при увеличении температуры от 100 до 1200 °С его значение увеличивается на 16 %. Для анализа зависимости теплоемкости шамотного огнеупора ШКУ-32 от температуры, были использованы справочные данные.*

*Проведенные исследования показывают, что средние скорости изменения коэффициента теплопроводности и теплоемкости при увеличении температуры для шамота ШКУ-32 не сильно*

*отличаются, не превышая 4 %. Исходя из этого, можно заключить, что при использовании коэффициента температуропроводности в теплотехнических расчетах нет необходимости учитывать влияние температуры. Увеличение коэффициента теплопроводности компенсируется ростом теплоемкости огнеупорного материала.*

*Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, теплоёмкость, высокотемпературные агрегаты, коэффициент температуропроводности, футеровка, зависимость от температуры.*

## **Введение**

Коэффициент теплопроводности материала – одна из важнейших теплофизических характеристик, используемых в теплотехнических расчётах. Значение коэффициента теплопроводности используется непосредственно в расчётах, например, при определении плотности теплового потока, или в качестве составляющей других коэффициентов (коэффициента температуропроводности) [1].

Теплопроводность огнеупорных материалов футеровки может изменяться в широких пределах в процессе эксплуатации. Причинами этого являются: изменение температуры материала, изменение химического состава материалов вследствие действия температур и рабочих сред, снижение плотности материала в процессе эксплуатации и др. [2].

Таким образом, для оценки тепловой работы футеровок высокотемпературных агрегатов необходимы данные о коэффициенте теплопроводности футеровочных материалов в момент проведения исследований с учётом условий эксплуатации.

Зависимости коэффициента теплопроводности от температуры приведены в литературе [3; 4; 5]. Но широкий спектр применяемых огнеупорных материалов и разнообразие составов, применяемых в огнеупорах, часто приводят к тому, что получение данных для рассматриваемого вида огнеупора возможно только лабораторным путём.

Расчёт термонапряжённого состояния футеровки [6] предполагает использование значения коэффициента теплопроводности как

непосредственно, так и в виде составляющей коэффициента температуропроводности. Произведём оценку влияния изменения температуры на эти коэффициенты.

### Материалы и методы

Для оценки коэффициента теплопроводности огнеупорных материалов наиболее точным и простым является метод измерений коэффициента в лабораторных условиях. Разработано достаточно много способов и устройств для измерения коэффициента теплопроводности [7; 8; 9]. При этом, не все способы подходят для определения коэффициента теплопроводности огнеупоров при повышенных температурах и с пропиткой. Одним из наиболее простых и надёжных приборов для измерения теплопроводности являются приборы, работа которых основана на методе теплового зонда. Так, использование метода цилиндрического зонда, реализуется в измерителе теплопроводности ИТП-МГ4 «Зонд». С помощью прибора можно получить локальные коэффициенты теплопроводности для небольших зон, но температура измеряемого материала ограничивается 40 градусами. Поэтому, при его использовании, нет возможности получать зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

Авторами был разработан и создан стенд для определения теплофизических свойств огнеупорных материалов (рисунок 1), который позволяет одновременно определять предел прочности на сжатие и коэффициент теплопроводности огнеупорного материала при повышенных температурах [10].

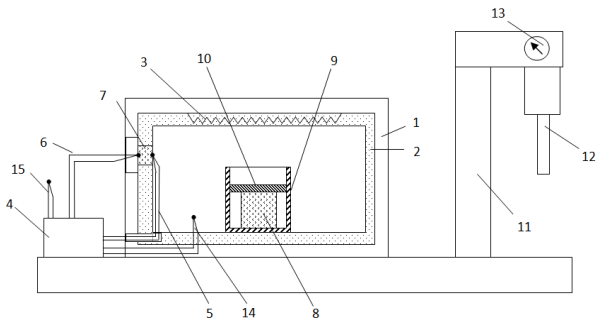


Рисунок 1 – Устройство для термомеханических испытаний материалов

Предлагаемый способ заключается в одновременном определении:

- коэффициента теплопроводности образца исследуемого огнеупорного материала, размещённого в окне огнеупорного слоя муфельной печи;

- предела прочности исследуемого материала, который выдерживается при заданной температуре и нагружается до разрушения.

Устройство включает в себя муфельную печь 1, имеющую огнеупорный слой 2 и электрический нагреватель 3. Для измерения температур используется вторичный прибор 4. К вторичному прибору 4 подключены термопары 5 и 6, которые расположены на внутренней и наружной поверхности исследуемого образца соответственно.

Из исследуемого материала изготавливают два образца. В огнеупорном слое выполнено окно для размещения первого образца 7. Металлический толстостенный стакан 9 устанавливается в рабочее пространство муфельной печи. Второй образец 8 располагается внутри стакана и накрывается металлической пластиной 10 по размеру отверстия стакана. Для создания нагрузки используется пресс 11, который посредством силовой тяги 12 воздействует на пластину. Измерение создаваемой нагрузки производится по силоизмерительному устройству 13.

Термопара 14 размещается внутри жарового пространства печи и предназначена для измерения температуры внутри муфельной печи. Термопара 15 находится снаружи печи и предназначена для измерения температуры окружающей среды.

Первый образец – это образец для измерения коэффициента теплопроводности в форме прямоугольного параллелепипеда. Данный образец по размерам равен размерам окна в муфельной печи. Толщина этого образца должна быть меньше длины ребра лицевой грани не менее чем в пять раз. Второй образец необходим для определения предела прочности на сжатие и выполняется в форме цилиндра или прямоугольного параллелепипеда.

Образец 7 размещается в окне огнеупорного слоя. Образец 8 помещают в муфельную печь и начинают нагрев металлического толстостенного стакана. После достижения требуемого значения температуры стакан с испытуемым образцом вынимают из муфеля и сразу

подвергают одноосному нагружению прессом до разрушения огнеупорного материала.

Для определения коэффициента теплопроводности в качестве температуры испытания  $t_{\text{тепл}}$  принимается среднеарифметическое значение температур, фиксируемых термопарами 5 ( $t_5$ ) и 6 ( $t_6$ ):

$$t_{\text{мен.л}} = (t_5 + t_6) / 2.$$

Плотность теплового потока  $q$  (Вт/м<sup>2</sup>), проходящего через образец исследуемого огнеупорного материала определяется по формуле:

$$q = \alpha \cdot (t_6 - t_{\text{о.с.}}),$$

где  $t_{\text{о.с.}}$  – температура окружающей среды, измеряемая термопарой 15, °С;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности исследуемого огнеупорного материала Вт/(м<sup>2</sup>·°С); определяется по любой известной формуле, например [11]:

$$\alpha = 4,8 \cdot (t_6 - t_{\text{о.с.}})^{0,25},$$

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  определяется по известной формуле в случае плоского слоя:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{t_5 - t_6},$$

где  $\delta$  – толщина образца исследуемого огнеупорного материала, м.

### **Результаты и обсуждения**

В соответствии с разработанным способом были определены коэффициенты теплопроводности для образцов огнеупорного материала футеровки разливочных ковшей ферросплавного производства – ШКУ-32.

Измерение теплоёмкости огнеупорных материалов требует дорогостоящего оборудования и имеет значительные сложности. Поэтому, для анализа зависимости теплоёмкости шамотного огнеупора ШКУ-32 от температуры воспользуемся справочными данными [12].

Результаты проведённых экспериментов по определению коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры представлены на рисунке 2.

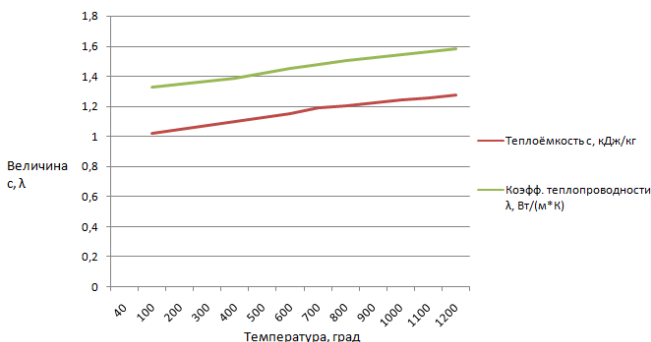


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплопроводности и теплоёмкости шамотного огнеупора (марки ШКУ) от температуры

Анализ полученных данных показывает, что коэффициент теплопроводности в значительной мере зависит от температуры. Увеличение температуры сопровождается ростом коэффициента теплопроводности. Значение коэффициента теплопроводности увеличивается на 16 % при возрастании температуры от 100 до 1200 °C.

Известно, что коэффициент температуропроводности  $a$  определяется соотношением:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho},$$

где  $c$  – теплоёмкость огнеупорного материала, кДж/кг;

$\rho$  – плотность огнеупорного материала, кг/м<sup>3</sup>.



С учётом того, что плотность шамотного кирпича в рассматриваемом диапазоне температур можно принять постоянной величиной, коэффициент температуропроводности будет определяться отношением  $\lambda/c$ .

Анализ теплоёмкости шамотного огнеупора ШКУ-32 (рисунок 2), показал, что она также увеличивается с ростом температуры. В рассматриваемом диапазоне температур от 100 до 1200 °С изменение значения теплоёмкости составляет 19,9 %. Таким образом, разница в росте коэффициента теплопроводности и теплоёмкости материала не значительна и составляет не более 4 %.

### **Выводы**

Анализ полученных данных показывает, что изменение коэффициента теплопроводности при изменении температуры значительно, и данная зависимость должна учитываться при теплотехнических расчётах.

Увеличение теплоёмкости при росте температуры также достигает относительно высоких значений. Зависимость теплоёмкости от температуры имеет аналогичный характер с зависимостью теплопроводности от температуры. С учётом того, что коэффициент температуропроводности определяется отношением  $\lambda/c$ , одновременное увеличение коэффициента теплопроводности и теплоёмкости при повышении температуры оказывает незначительное влияние на коэффициент температуропроводности.

Проведённые исследования показали, что средние скорости изменения коэффициента теплопроводности и теплоёмкости при увеличении температуры для шамота ШКУ-32 не сильно отличаются (не более 4 %). На основании вышесказанного можно сделать вывод, что при использовании коэффициента температуропроводности в теплотехнических расчётах нет необходимости учитывать влияние на него температуры. Увеличение коэффициента теплопроводности компенсируется увеличением теплоёмкости огнеупорного материала.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP19675777)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ботян, С. С.** Оценка огнестойкости каркасно-обшивных перегородок с использованием теплофизических характеристик, полученных экспериментально-расчетным способом в камерной электропечи [Текст] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. –2020. –№2.

2 **Соколов, А. К.** Метод определения температуропроводности и коэффициента теплопроводности по температурам поверхности пластины как полуограниченного тела. Известия высших учебных заведений [Текст] // Черная Металлургия. –2022. –65 (1). – Р .57-65. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-1-57-65>.

3 **Кашеев, И. Д.** Огнеупоры : материалы, изделия, свойства и применение [Текст]. – М. : Теплоэнергетик, 2003.

4 **Ененко, Г. М., Степанов, Е.М., Филимонов, Ю.П.** Промышленные печи [Текст]. – Москва : Машиностроение, 1964. - 359 с.

5 **Стрелов, К. К., Кашеев, И. Д., Мамыкин, П. С.** Технология огнеупоров [Текст]. –М. : Металлургия 1988. – 528с.

6 **Prikhod'ko, E. V.** Analysis of methods for heating the lining of high-temperature units. Refractories and Industrial Ceramics. Vol. 62, No. 4, P. 463-466. November, 2021. [10.1007/s11148-021-00625-1](https://doi.org/10.1007/s11148-021-00625-1).

7 **Гусейнов, Г. Г.** Устройство для измерения теплопроводности [Текст] // Вестник Казанского технологического университета. –2014. – №23. – С. 299-304.

8 **Чиркин, В. С.** Теплопроводность промышленных материалов [Текст]. – М. : Изд-во маш. Литры. 1962. –247с.

9 **Просветов, Н. И.** Методы идентификации теплофизических параметров композитных материалов / Н. И. Просветов, В. В. Черновверская, Д. В. Басов. [Текст] // Молодой ученый. – 2023. – № 26 (473). – С. 20-24.

10 **Приходько, Е. В., Кинжибекова, А. К., Арипова, Н. М.** Способ определения теплофизических свойств огнеупорных материалов. Патент на полезную модель № 8261 Республика Казахстан, G01N 3/00, бюл. №28 от 14.07.2023.

11 **Стариков, В. С., Темлянец М. В., Стариков В. В.** Огнеупоры и футеровки в ковшевой металлургии [Текст]. – М. : МИСИС, 2003. – 328с.

12 Справочник Конструктора. Осевые моменты инерции, моменты сопротивления и радиусы инерции плоских фигур [Электронный ресурс] – <https://katalim.ru/shamot.htm>.

## REFERENCES

1 **Botyan, S. S.** Ocenka ognestojkosti karkasno-obshivnyh peregorodok s ispol'zovaniem teplofizicheskikh harakteristik, poluchennyh eksperimental'no-raschetnym sposobom v kamernoj elektropechi [Evaluation of the fire resistance of frame-sheathing partitions using thermophysical characteristics obtained by experimental calculation in a chamber electric furnace] [Text]. // Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MChS Belarusi. – 2020. – № 2.

2 **Sokolov, A. K.** Metod opredeleniya temperaturoprovodnosti i koefficienta teploprovodnosti po temperaturam poverhnosti plastiny kak poluogranichennogo tela [A method for determining the thermal conductivity and thermal conductivity coefficient from the temperatures of the plate surface as a semi-bounded body] [Text]. // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya Metallurgiya. – 2022. – 65(1). – P.57-65. – <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-1-57-65>.

3 **Kashcheev, I. D.** Ogneupory : materialy, izdeliya, svojstva i primenenie [Refractories: materials, products, properties and applications] [Text].– Moscow : Teploenergetik, 2003.

4 **Enenko, G. M., Stepanov, E. M., Filimonov, Yu. P.** Promyshlennye pechi [Industrial furnaces] [Text]. – Moscow : Mashinostroenie. 1964. –359 p.

5 **Strelov, K. K., Kashcheev, I. D., Mamykin, P. S.** Tekhnologiya ogneuporov [Refractory technology] [Text] – Moscow : Metallurgiya. 1988. – 528p.

6 **Prihod'ko, E. V.** Analysis of methods for heating the lining of high-temperature units. Refractories and Industrial Ceramics. Vol. 62, No. 4, Pp. 463-466. November, 2021. [10.1007/s11148-021-00625-1](https://doi.org/10.1007/s11148-021-00625-1).

7 **Gusejnov, G. G.** Ustrojstvo dlya izmereniya teploprovodnosti [Device for measuring thermal conductivity] [Text]. // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. –2014. –№23. – P. 299–304.

8 **Chirkin, V. S.** Teploprovodnost' promyshlennykh materialov [Thermal conductivity of industrial materials]. – М.: Izd-vo mash. Litry. –1962. –247p.

9 **Prosvetov, N. I.** Metody identifikatsii teplofizicheskikh parametrov kompozitnykh materialov [Methods of identification of thermophysical parameters of composite materials] [Text] / N. I. Prosvetov, V. V. Chernoverskaya, D. V. Basov. Molodoj uchenyj. – 2023. – № 26 (473). – P. 20-24.

10 **Prihod'ko, E. V., Kinzhibekova, A. K., Aripova, N. M.** Sposob opredeleniya teplofizicheskikh svoystv ognepurnykh materialov [A method for determining the thermophysical properties of refractory materials]. Patent na poleznuyu model' № 8261 Respublika Kazahstan, G01N 3/00, byul. №28 ot 14.07.2023.

11 **Starikov, V. S., Temlyancev, M. V., Starikov, V. V.** Ogneupory i futerovki v kovshevoj metallurgii [Refractories and linings in bucket metallurgy] [Text]. – Moscow : MISIS. 2003. – 328p.

12 Spravochnik Konstruktora. Osevy`e momenty` inercii, momenty` soprotivleniya i radiusy` inercii ploskix figur [Designer's Handbook. Axial moments of inertia, moments of resistance and radii of inertia of plane figures] [Electronic resource] <https://katalim.ru/shamot.htm>.

Поступило в редакцию 25.01.24.

Поступило с исправлениями 06.02.24.

Принято в печать 01.03.24.

*Е. В. Приходько, А. С. Никифоров, Н. М. Арипова,*

*А. К. Кинжибекова, \*А. Е. Карманов*

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

25.01.24 ж. баспаға түсті.

06.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ӨЗГЕРУІНІҢ ОТҚА ТӨЗІМДІ ЗАТТАРДЫҢ ЖЫЛУ-ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ**

*Бұл мақалада температура мен пайдалану жағдайларына байланысты отқа төзімді материалдардың жылу-физикалық коэффициенттерін анықтау әдістеріне талдау жасалды. Талдау көрсеткендей, жылу өткізгіштік коэффициентін анықтауға арналған әдістер мен құрылыстардың едәуір санына қарамастан, отқа төзімділікті қарастырылып отырған түрі үшін деректерді алу тек зертханалық жолмен мүмкін болады.*

*Авторлар жоғары температурада отқа төзімді материалдың қысу беріктігі мен жылу өткізгіштік коэффициентін бір уақытта анықтауға мүмкіндік беретін отқа төзімді материалдардың жылу-физикалық қасиеттерін анықтауға арналған стенд әзірледі және жасады.*

*Әзірленген әдіс аясында ферроқорытпа өндірісінде құю шелектерін төсеуде қолданылатын отқа төзімді материал үлгілері үшін жылу өткізгіштік коэффициенттері есептелді, атап айтқанда – ШКУ-32 материалы. Температураның жоғарылауы жылу өткізгіштік коэффициентінің жоғарылауымен бірге жүреді, ал температура 100-ден 1200 °С-қа дейін көтерілгенде оның мәні 16 %-ға артады. Отқа төзімді шамот ШКУ-32 жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігін талдау үшін анықтамалық мәліметтер қолданылды.*

*Жүргізілген зерттеулер шамот ШКУ-32 үшін температураның жоғарылауымен жылу өткізгіштік коэффициенті мен жылу сыйымдылығының өзгеруінің орташа жылдамдығы 4 % - дан аспайтын айтарлықтай ерекшеленбейтінін*

*көрсетеді. Осыған сүйене отырып, жылу есептеулерінде температура өткізгіштік коэффициентін қолданған кезде температураның әсерін ескерудің қажеті жоқ деп қорытынды жасауға болады. Жылу өткізгіштік коэффициентінің артуы отқа төзімді материалдың жылу сыйымдылығының осуімен өтеледі.*

*Кілтті сөздер: жылу өткізгіштік коэффициенті, жылу сыйымдылығы, жоғары температуралық қондырғылар, температура өткізгіштік коэффициенті, төсеу, температураға тәуелділік.*

*E. V. Prikhodko, A. S. Nikiforov, N. M. Aripova, A. K. Kinzhibekova,*

*\*A. E. Karmanov*

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 25.01.24

Received in revised form 06.02.24.

Accepted for publication 01.03.24.

## **ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE CHANGES ON THE THERMAL-PHYSICAL PROPERTIES OF REFRACTORIES**

*This article analyzes the methods for determining the thermophysical coefficients of refractory materials depending on temperature and operating conditions. The analysis shows that despite a significant number of methods and devices for determining the coefficient of thermal conductivity, obtaining data for the type of refractory in question is possible only in the laboratory.*

*The authors have developed and created a stand for determining the thermophysical properties of refractory materials, which allows simultaneously determining the compressive strength and thermal conductivity coefficient of a refractory material at elevated temperatures.*

*Within the framework of the developed method, thermal conductivity coefficients were calculated for samples of refractory material used in lining ladles in the production of ferroalloys, namely – the SHKU-32 material. An increase in temperature is accompanied by an increase in*

*the thermal conductivity coefficient, and with an increase in temperature from 100 to 1200 °C, its value increases by 16 %. To analyze the dependence of the heat capacity of the fireclay refractory SHKU-32 on temperature, reference data were used.*

*The conducted studies show that the average rates of change in the coefficient of thermal conductivity and heat capacity with increasing temperature for SHKU-32 chamotte do not differ much, not exceeding 4 %. Based on this, it can be concluded that when using the coefficient of thermal conductivity in thermal engineering calculations, there is no need to take into account the influence of temperature. The increase in the thermal conductivity coefficient is compensated by an increase in the heat capacity of the refractory material.*

*Keywords: thermal conductivity coefficient, heat capacity, high-temperature aggregates, thermal conductivity coefficient, lining, temperature dependence.*

МРНТИ 44.01.05

<https://doi.org/10.48081/ECTU7696>

**\*А. С. Расмухаметова<sup>1</sup>, К. С. Олжабаева<sup>1</sup>,  
А. З. Абжекеева<sup>2</sup>, Г. М. Есет<sup>1</sup>, С. П. Харченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.*

<sup>2</sup> *Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.*

## **АУАНЫ ЖЕЛДЕТУ МЕН ЭНЕРГОҚАМТУДЫҢ АККУМУЛЯЦИЯЛЫҚ ГЕЛИОЖҮЙЕСІ**

*Мақалада органикалық отынмен жылыту және ыстық сумен жабдықтау қажеттіліктері үшін автономды жылумен жабдықтау жүйелері мен жылу электр станцияларының қоршаған ортаға зиянды әсері туралы айтылады, сондай-ақ оларға балама ретінде дербес энергиямен жабдықтау жүйелері ретінде автономды аккумуляторлық энергиямен жабдықтау және кондиционерлеу жүйесі ұсынылады. Сондай-ақ, жеке тұрған ғимараттар мен бөлмелерді жылу және электрмен қамту, ауаны желдетудің экологиялық таза автономды аккумуляциялық гелиожүйенің негізгі элементтерін күннің энергиясын пайдалана отырып жобалау сұрақтары қарастырылды.*

*Негізінен, жүйеде екі бір-бірінен тәуелсіз тізбек бар, біріншісі – ауаны желдету сплит-кондиционер жүйесінің фреонды тізбегі, ал, екіншісі – тізбектің салқындатқышы – антифриздің сулы ерітіндісі және судың антифриз ерітіндісі ретінде жүреді және жылу сорғысы, екіфазалы жылу аккумуляторлар мен ыстық су қыздырғыштарының қатар орналасқан жиектері, айналым сорғысы және күн энергетикалық коллекторлары (жинағыш) бар жүйе. Жиектер бір-бірімен сплит-жүйенің ішкі жиектеріндегі рекуперативті жылуалмастырғыштармен жалғасқан.*

*Ұсынылған автономды аккумуляторлық гелиожүйенің артықшылықтары аталып, күн энергиясы коллекторларының қажетті ауданын және екі фазалы жылу батареясының*



*сыйымдылығын есептеу мысалы қарастырылған. Мысалда жылу сорғылары компрессорларының жетегінің электр жүктемесінің орташа қуаты, екі фазалы аккумулятордың жылу сыйымдылығы, ыстық сумен жабдықтау жүктемесі және жылыту жүктемесі есептелген.*

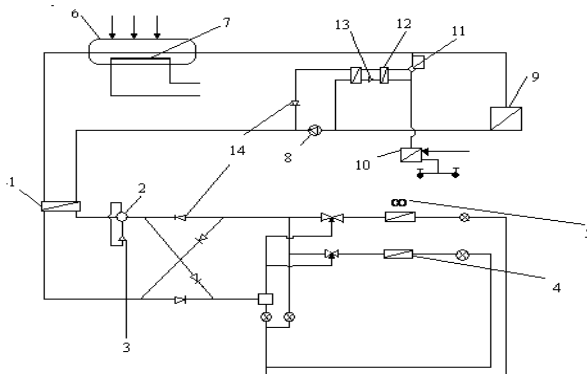
*Кілтті сөздер: автономды жүйе, жылумен қамту жүйелері, автономды аккумуляциялық гелиоәуіесі, күн энергетикалық коллектор, жылулық сорғы, жылулық сорғы компрессоры.*

### **Кіріспе**

Жылыту және ыстық сумен қамтуға қажет болатын органикалық отынмен жұмыс жасайтын жылумен қамтудың автономды жүйесі жылутастандылардың, жылы газдардың, зиянды заттардың негізгі көзі болып табылады. Қалалар мен ауылдарды жылумен қамту үшін қолданылатын жылуды ауаға тасталатын, оны ластайтын зиянды зат қоры ретінде де қарастыруға болады. Бұл, пайдаланатын электр энергиясы жылу электр стансаларында өндірілетін болғандықтан, электр энергиясын пайдаланып жұмыс жасайтын ауаны желдету және жылумен қамту жүйелеріне (жылу сорғысымен жұмыс жасайтын жеке жылумен қамту жүйелері, желдету мен қыздырудың электр жүйелері) қатысты.

Қазақстан Республикасының климаттық жағдайы жеке энергоқамту жүйесіне күн радиациясының энергиясын кеңінен қолдануға жақсы жағдай жасалған, себебі, бір жағынан Қазақстанның аймағындағы күн радиациясының энергиясы мемлекеттің барлық өндірілетін отын энергетикалық ресурстарының 90% құрайды, екінші жағынан, күн радиациясы тығыздығының жоғары болуы, жеке жылу және электрмен қамту, ауаны желдету жүйелерін жасауды арзандатады.

## Материалдар мен әдістер



1-сурет – Энергоқамту мен ауаны желдетудің автономды аккумуляциялық гелиосистемасы: 1– сплит-жүйенің ішкі жиегіндегі конденсатор (жылуалмастырғыш); 2, 11– төртжүрісті клапан; 3, 13 – компрессорлар; 4- ішкі жиектің буландырғыштары; 5- желдеткіш; 6- күннің энергетикалық коллекторы; 7– жарықтандырғыш; 8- айналым сорғысы; 9 – жылу аккумулялчтор; 10- ыстық су қыздырғышы, 12– жылу сорғысы; 4– автоматты клапан.

1-суретте жылу схемасының автономды схемасы көрсетілген. Бірінші тізбегінде ауаны желдетудің сплит-жүйесінің фреонды тізбегі (1-2-3-4-5). Екінші тізбекте параболалық концентраты 7 бар күн энергетикалық коллекторы бар, оның бетінде фотоэлектрикалық тақтайша, екі фазалы жылу аккумуляторы 9, жылу сорғысы 12 бар су қыздырғыштар 10, айналым сорғысы 8 бар. Екінші тізбектің жылутасымалдағышы ретінде антифриз ерітіндісі қолданады, оған қыс мезгіліндегі қауіпсіз қолдануға арналған ауаның есептік температурасы есептелген. Екі тізбек бір – бірімен жылуалмастырғыш арқылы 1 байланысқан. Аталған жүйедегі желдеткіші бар сплит-жүйенің фреонды-ауалық конденсаторын сұйық жылутасымалдағышы бар рекуперативті жылуалмастырғышпен алмастырамыз, бұл кезде, желдеткішті алып тастаймыз, барлық жүйе мен жылуалмастырғыштың жұмыс тиімділіктері артады.

Жаз мезгілінде төрт қадамды клапан 2, 11 мен автоматты клапандарды 14 ауыстырғанда фреонды тізбек бөлмені салқындату режиміне көшеді. Бөлмені салқындату жылуы мен компрессор жұмысы жылуалмастырғыш 1

арқылы екінші тізбекке беріледі. Мұнда екінші тізбектің жылу тасымалдағышы күн энергетикалық коллекторында 6 жақсылап қыздырылады, екі фазалы аккумулятор 9 заряд алды және жылу алмастырғышта 10 ыстық су қыздырылады. Төрт сатылы клапан 11 мен автоматты клапанның 14 көмегімен жылу сорғысы 12 өшіріледі.

Қысқы және ауысу мезгілдерінде фреонды тізбек жылу сорғы режимінде жұмыс жасайды да, жылу аккумуляторында жиналған жылу, компрессорға әкелуге 3 кететін электроэнергия шығысы арқылы бөлмені жылыту жүзеге асырылады, сонымен қатар, күн жылы кезінде коллекторда 6 жиналған суды жылыту есебінен жүзеге асырылады. Ыстық суды қосымша жылыту сорғысын 12 жұмысқа қосу арқылы жүзеге асырылады.

Аталған жүйенің келесідей артықшылықтары бар:

- барлық жылуды тұтынатын жерлерді қамтамасыз етеді: жылыту, ыстық сумен қамту және ауаны желдету, сонымен қатар, жүйенің өз қажеттіліктеріне кететін электр қолданулар;

- экологиялық қауіпсіз, берілген аймақта жылудың орнына қолданған күн радиациясының энергиясы қайта әкелінеді, ауаны желдетудің сплит-жүйесінің салқындату тәртібіндегі жылу тасталмайды;

- жүйе сыртқы ауа температурасының кең аралығында тиімді жұмыс жасайды, жылу аккумуляторлары бар екі сұйық тізбек қолданылғандықтан, термодинамикалық циклдардағы температура аралығы азаяды, суытатын және жылытатын коэффициенттер ұлғаяды, жылу ретінде қолданған электр энергиясы жеке гелио жүйеде толығымен жұмсалады.

### **Нәтижелер және талқылау**

Жүйенің көптеген элементтерінің есептеу методикасы сәйкес әдебиеттерде толығымен қарастырылған. Күн энергетикалық коллектордың қажетті ауданы мен екі фазалы жылу аккумуляторының сыйымдылығын есептеу керек.

Күн коллекторы мен жылу аккумуляторын есептеу Алматы қаласының климаттық көрсеткіштері бойынша жүргізіледі, олар келесі берілгендермен сипатталады [1; 2; 3]:

Сыртқы ауаның есептік температурасы,  $t_n^p, ^\circ\text{C}$

Ғимараттың ішкі ауасының есептік температурасы,	20
$t_{вн}^p, ^\circ\text{C}$	
Жылыту маусымы кезіндегі сыртқы ауаның орташа температурасы, $t_n^{cp}, ^\circ\text{C}$	- 1,2
Жылыту маусымының ұзақтығы, Z, тәу.	167
Алматы қаласының географиялық ені, $^\circ$ с.ш.	43,4
Күн радиациясының қосынды орташа қарқындылығы, I, Вт/м <sup>2</sup>	223,81
Жаз мезгіліндегі күн радиациясының көлденең бетке түсетін қосынды орташа қарқындылығы, I <sub>лп</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	287,38
Жоғарыда аталған қарқындылық, тек қыс мезгілінде, I <sub>оп</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	48,33
Жаз K <sub>лп</sub> мезгіліне арналған бұлттану коэффициенті	0,78
Қыс K <sub>оп</sub> мезгіліне арналған бұлттану коэффициенті	0,60

Күн энергетикалық коллектордың тиімділігі жылу ПӘК - пен анықталады  $\eta$  [4]:

$$\eta_9 = \eta_0 - K(t_{вх} - t_n) / I_k, \quad (1)$$

мұндағы,  $\eta_0$  – оптикалық ПӘК-і;  $t_{вх}$ ,  $t_n$  – коллекторға келген жылутасығыштың және сыртқы ауаның ағымды температурасы;  $I_k$  - коллекторға келетін күн радиациясының тығыздығы; K – жылу шығын коэффициенті;  $\eta_9$  – электрикалық ПӘК-і.

$$\eta_9 = \tau \alpha_9 I_k, \quad (2)$$

мұндағы,  $\tau$  – коллектор тұрқысының шағылысуды өткізу коэффициенті;  $\alpha_9$  - панельдің ПӘК-і.

Күннің азимуталды қозғалысын және коллектордың горизонтқа қарай тиімді қисаю бұрышы  $\beta$  кезіндегі қозғалысын бақылап отыратын параболацилиндрлік қосындылары бар энергетикалық коллектор үшін келесідей анықталады [9]:

$$I_k = k \cdot k_\beta \cdot k_a I, \quad (3)$$

мұндағы,  $k$  – бұлттану коэффициенті;  $k_\beta = 1,3$  – қисаю бетіне қарай шағылысудың тығыздығын есептеу коэффициенті;  $k_a = 1,714$  – күнді автоматты түрде бақылау коэффициенті;  $I$  – берілген аймақтың көлденең бетке шағылысу қарқындылығы. Берілген коллекторға

$$I_k = 2,228 k I, \quad (4)$$

Жылу шығындарының есептік тізбекті коэффициенті  $k_l = 0,053$  Вт/м<sup>2</sup>·°С. Осыдан келесі теңдеу шығады:

$$\eta = \eta_0 - \frac{K_l \cdot l \cdot (t_{ex} - t_n)}{2,228 k I}, \quad (5)$$

мұндағы,  $l$  – коллектордың 1 м<sup>2</sup> ауданына келетін оның ұзындығы. Коллектордың меншікті электрикалық қуаты [10]:

$$\eta_s = 0,267 \cdot k \tau I,$$

мұндағы,  $\alpha_s = 0,12$ .

$M$ , адам, адамдар саны,  $A$ , м<sup>2</sup> ауданы бар 1-3 қабатты ғимараттың жылыту маусымы кезіндегі жылу жүктемесі келесі жолмен анықталады [3]:  
Жылыту жүктемесі:

$$Q_{om} = q_n^{req} \cdot A \cdot f(t_{en}^p - t_n^{cp}) Z \cdot 10^{-3}, \text{ МДж} \quad (6)$$

мұндағы,  $f$  – жылыту жүктемесін автоматты түрде реттейтін коэффициент;  $t_H^{CP}$  – сыртқы ауаның орташа температурасы.

Ыстық су жүктемесі [4]:

$$Q_{ГВС} = Ma(t_z - t_x) C_p \cdot Z \cdot 10^{-3}, \text{ МДж} \quad (7)$$

мұндағы,  $t_z = 55^\circ\text{C}$ ;  $a$  – бір адамға кететін ыстық шығынының нормасы;  $C_p$  - судың жылусыйымдылығы.

Екіфазалы аккумулятордың жылу сыйымдылығы келесі қатынаспен анықталады:

$$Q_{ТА} = Q_{OT} \cdot \frac{\varphi_{OT} - 1}{\varphi_{OT}} + Q_{ГВС} \frac{\varphi_{Г} - 1}{\varphi_{Г}} - I_k \cdot F \cdot \eta \cdot Z \cdot 86,4 \cdot 10^{-3}, \text{ МДж} \quad (8)$$

мұндағы,  $\varphi_{OT}, \varphi_{Г}$  – жылыту мен ыстық сумен қамту желісіндегі жылу сорғының жылыту коэффициенті;  $\eta$  – коллектордың жылыту ПӘК-і [5];  $F$  – коллектордың ауданы.

Жылулық сорғы компрессорына келетін жолдың электр жүктемесінің орташа қуаты келесі теңдеумен танықталады:

$$N_{OT} = \frac{Q_{OT}}{\eta_k \cdot \varphi_{OT}} \cdot 10^6, \text{ Вт}, \quad N_{ГВС} = \frac{Q_{ГВС}}{\eta_k \cdot \varphi_z} \cdot 10^6, \text{ Вт} \quad (9)$$

мұндағы,  $\eta_k$  –

компрессор ПӘК-і.

Күн энергетикалық коллектордың ауданын жаз мезгіліндегі электр жүктемесінің орташа қуаты  $N_{\text{нп}}$  бойынша таңдаймыз. Қондыру құнын азайту үшін электрмен қамту жүйесін қаланың жүйесіне қосу керек, ал қыстағы сыртқы электр желілерінен келетін электр қуатының

жетіспеушілігін толтыру үшін жаз мезгіліндегі артық энергияны желі қайтарып отырады.

Коллектор ауданын  $F$  келесі қатынаспен анықтаймыз[6]:

$$F = \frac{N_{on}}{I_{лн} \alpha_3 \tau}, \text{ м}^2 \quad (10)$$

мұндағы,  $N_{on}$  - жазғы электр жүктемесінің қосынды қуаты.

Глаубер тұзынан  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  алынатын жылу массасы бар екі фазалы жылу аккумуляторлары екі бөлек блок ретінде орындалады, олардың әрқайсысы сыйымдылығы  $1,03 \text{ м}^3$  болатын және глаубер тұзымен толтырылған, құбырлары шоғырынан, жылулық оқшаулаудан тұратын металл ыдыс. Зарядтау уақытында жүйе  $15^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$  температура аралығында қыздырылады. Құрылыс құрылымдарының жылусыйымдылығын есепке алғанда, бір блокпен жиналған жылудың мөлшері  $674,54 \text{ МДж}$  болады [7].

Жылу аккумулятор блоктарының санын келесі қатынаспен анықтаймыз [8]:

$$n = Q_{ТА} / 674,54 \quad (11)$$

Есептеу мысалдары: ауданы  $100 \text{ м}^2$ , адам саны 4 болатын 2 қабатты үй үшін жүйенің көрсеткіштерін есептеп табамыз. Аймақ – Алматы қаласы.

Есептелген және алынған коэффициенттер:  $\alpha = 0,9$ ,  $\alpha_3 = 0,12$ ,  $\tau = 0,9$ ,  $\eta = 0,8$ ,  $\eta_3 = 0,11$ ,  $\eta_{конр} = 0,75$ ,  $\varphi_{OT} = 20,2$ ,  $\varphi_{Г} = 7,4$ .

$Q_{OT} = 33456,78 \text{ МДж}$ ;  $Q_{ГВС} = 6712,6 \text{ МДж}$ ;  $Q_{ТА} = 37606,8 - 1945,5 \text{ Ф, МДж}$ .

$$N_{лн} = 753 \text{ Вт}, N_{on} = 1222 \text{ Вт}.$$

Коллектор ауданы  $F = 753/54,936 = 14,15 \text{ м}^2$  деп аламыз, жылу аккумуляторы блоктарының саны  $n = 13$  блок.

**Қорытынды**

Қорытындылай келе, ауаны баптау және күн энергиясын сақтау жүйелері энергия шығындарын азайту, энергияның тәуелсіздігін арттыру, энергия тиімділігін арттыру және көміртегі шығарындыларын азайту сияқты бірқатар артықшылықтарды қамтамасыз етеді. Орнатумен байланысты шығындарды азайту үшін электрмен жабдықтау жүйесін муниципалдық жүйеге қосу керек, ал жазда өндірілген артық электр энергиясы қыста сыртқы электр желілерінен алынатын электр энергиясының жетіспеушілігін өтеу үшін желіге қайта жіберіледі. Технологияның үздіксіз дамуы мен ынталандыру мен қаржыландыру нұсқаларының қол жетімділігінің арқасында бұл жүйелер бүкіл әлемдегі үйлер мен кәсіпорындарда кеңірек енгізілуі әбден мүмкін.

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

СНиП РК 2.04-01-2017 Строительная климатология [Текст] – Астана, 2017.

Справочное пособие к СНиП Строительная климатология [Текст] – М. : Стройиздат, 2003.

СН РК 2.04-21-2004 Энергопотребление и тепловая защита гражданских зданий [Текст]. – Астана, 2004.

**Фаворский, О. Н.** Установки непосредственного преобразования энергии в электрическую [Текст]. – М. : Высшая школа, 2011. – 287 с.

**Исаченко, В. П., Осипова, В. А., Сукомел А. С.** Индивидуальные солнечные установки [Текст]. – М : Энергоатомиздат, 2015. С. 126 – 128 с.

**Павлов, Н.** Солнечная энергия – энергия будущего [Текст] // Электроника : наука, технология, бизнес. 2013. № 1(123). С. 130-137.

**Ершов, А. А.** Солнечная энергетика [Текст]. – М. : Знание, 2010. – 64 с.

СНиП РК 2.04-03-2002 Строительная теплотехника [Текст]. – Астана, 2002.

**Удалов, С. Н.** Возобновляемые источники энергии [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НГТУ 2014. – 459 с.

**Быстрицкий, Г. Ф.** Основы энергетика: учебник [Текст] – М. : ИНФРА-М, 2007. – 278 с.

### REFERENCES



1 SNiP RK 2.04-01-2017 Stroitel'na'ya klimatologi'ya [Construction climatology] [Text] – Astana, 2017.

2 Spravochnoe posobie k SNiP Stroitel'na'ya klimatologi'ya [Reference guide to the SNiP Construction Climatology] [Text] – Moscow : Stroyizdat, 2003.

3 SN RK 2.04-21-2004 E'ne'rgopotreblenie i teplovay'a zaschita grazhdanskikh zdanii [Energy consumption and thermal protection of civil buildings] [Text] – Astana, 2004.

**4 Favorsky O.N.** Installations for direct conversion of energy into electrical energy [Text] - Moscow : Higher School, 2011. - 287 p.

5 **Isachenko, V. P., Osipova, V. A., Sukomel, A. S.** Individualny'e solnechny'e ustanovki [Individual solar installations] [Text] – Moscow : Energoatomizdat, 2015. pp. 126 – 128 p.

6 **Pavlov, N.** Solnechnaya e'nergiya – e'nergiya budushego [Solar energy - the energy of the future] [Text] In Electronics : science, technology, business. 2013.No. 1(123). pp. 130 – 137 p.

7 **Umarov, G. Ya., Ershov, A. A.** Solnechnaya e'nergetika [Solar power engineering] [Text] – Moscow : Znanie, 2010. – 64 p.

8 SNiP RK 2.04-03-2002 Stroitel'na'ya teplotekhnika [Construction heat engineering] [Text] – Astana, 2002.

9 **Udalov, S. N.** Vozobnovlyamy'e istochniki e'nergii [Renewable energy sources] [Text] – Novosibirsk : Publishing House of NSTU 2014. – 459 p.

10 **Bystritsky, G. F.** Osnovy' e'nergetiki: uchebnik [Fundamentals of energy : textbook] [Text] – Moscow : INFRA-M, 2007. – 278 p.

14.02.24 ж. баспаға түсті.

14.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

30.05.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*\*А. С. Расмухаметова<sup>1</sup>, К. С. Олжабаева<sup>1</sup>,  
А. З. Абжекеева<sup>2</sup>, Г. М. Есет<sup>1</sup>, С. П. Харченко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>АУЭС имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>2</sup> Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Поступило в редакцию 14.02.24.

Поступило с исправлениями 14.02.24.

Принято в печать 30.05.24.

## **АККУМУЛЯТОРНАЯ ГЕЛИОСИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА**

*В статье рассказывается о вредном воздействии на окружающую среду автономных систем теплоснабжения и тепловых электростанций для нужд отопления и горячего водоснабжения на органическом топливе, а также предлагаются в качестве альтернативы им автономные системы энергоснабжения, как автономная аккумуляционная гелиосистема энергоснабжения и кондиционирования воздуха.*

*Рассмотрены вопросы проектирования основных элементов экологически чистой автономной аккумуляционной гелиосистемы тепло и электроснабжения и кондиционирования воздуха отдельных помещений и зданий на основе использования энергии солнечной радиации. Система содержит два независимых жидкостных контура, первый из них представляет собой фреоновый контур сплит-системы кондиционирования воздуха, теплоносителем второго контура является водный раствор антифриза и содержит солнечный энергетический коллектор, циркуляционный насос и параллельно соединенные контуры подогревателя горячей воды с тепловым насосом и теплового двухфазного аккумулятора, контуры соединены между собой рекуперативным теплообменником конденсатора внешнего контура сплит-системы.*

*Были названы преимущества предложенной системы и рассмотрен пример расчета необходимой площади солнечных энергетических коллекторов и емкости двухфазного теплового*

*аккумулятора. В примере произведен расчет средней мощности электрической нагрузки привода компрессоров тепловых насосов, теплоемкость двухфазного аккумулятора, нагрузка горячего водоснабжения и отопительная нагрузка.*

*Ключевые слова: автономная система, системы теплоснабжения, автономная аккумуляторная гелиосистема, солнечный энергетический коллектор, компрессор теплового насоса.*

**\*A. S. Rasmukhametova<sup>1</sup>, K. S. Olzhabayeva<sup>1</sup>, A. Z. Abzhekeeva<sup>2</sup>,  
G. M. Eset<sup>1</sup>, S. P. Kharchenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>AUPET named after G. Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>2</sup>Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 14.02.24

Received in revised form 14.02.24.

Accepted for publication 30.05.24.

## **RECHARGEABLE SOLAR VENTILATION AND AIR POWER SUPPLY SYSTEM**

*The article describes the harmful effects on the environment of autonomous heat supply systems and thermal power plants for the needs of heating and hot water supply on organic fuel, and also suggests autonomous energy supply systems as an alternative to them, such as an autonomous accumulative solar system for energy supply and air conditioning.*

*The issues of designing the main elements of an environmentally friendly autonomous accumulative solar system for heat and power supply and air conditioning of individual rooms and buildings based on the use of solar radiation energy are considered. The system contains two independent liquid circuits, the first of them is a freon circuit of a split air conditioning system, the coolant of the second circuit is an aqueous antifreeze solution and contains a solar energy collector, a circulation pump and parallel connected circuits of a hot water heater with a heat pump and a thermal two-phase accumulator, the circuits are*

*interconnected by a regenerative heat exchanger of a condenser of an external split circuit- systems.*

*The advantages of the proposed system were named and an example of calculating the required area of solar energy collectors and the capacity of a two-phase thermal accumulator was considered. In the example, the average power of the electric load of the drive of heat pump compressors, the heat capacity of a two-phase battery, the load of hot water supply and the heating load are calculated.*

*Keywords: autonomous system, heat supply systems, autonomous battery solar system, solar energy collector, heat pump compressor.*

МРНТИ 621.313.3 I

<https://doi.org/10.48081/MESR3183>

**\*Д. М. Рахимбердинова<sup>1</sup>, Л. Б. Тюлюгенова<sup>1</sup>,  
М. Т. Азаматов<sup>1</sup>, Л. Н. Есмаханова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>2</sup>Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати,

Республика Казахстан, г. Тараз

\* e-mail: [Di\\_lara83@mail.ru](mailto:Di_lara83@mail.ru)

## **ИНТЕГРАЦИЯ В ОБЩЕЗАВОДСКУЮ СЕТЬ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ РУДОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ДВУХ МТТ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

*При производстве высококачественной стали ферросплавы имеют первостепенное значение. В настоящее время стали используются в строительной промышленности, машиностроительной промышленности, автомобилестроении, производстве металлопродукции, электрического оборудования, бытовой технике и других областях. Исходя из этого, сталеплавильное производство напрямую зависит от состояния ферросплавной промышленности. Поэтому релейная защита электрооборудования рудотермических производств, на которых производятся ферросплавы, является актуальным вопросом. В статье предлагается высокочувствительная защита от витковых замыканий в первичной обмотке однофазного печного трансформатора рудотермического производства, а также от обрывов и дуговых замыканий в парах трубошин его короткой сети. Данная защита реализуется при помощи двух магнитных трансформаторов тока (МТТ). Также предлагается интегрировать это устройство защиты на двух МТТ в общезаводскую сеть рудотермического производства. Шкаф*

*защиты на базе промышленного контроллера Trei-5B-05 позволяет реализовать как местное, так и дистанционное управление защитой от витковых замыканий в первичной обмотке однофазного печного трансформатора, а также от обрывов и дуговых замыканий в короткой сети. Для реализации человеко-машинного интерфейса предлагается использовать НМИ-панель Delta DOP-AS38, благодаря которой выполняется визуализация и местное управление.*

*Ключевые слова: рудотермическая печь, печной трансформатор, короткая сеть, шинный пакет, трубошины, измерительный преобразователь, магнитный трансформатор тока, схемы защиты, шкаф, промышленный контроллер.*

## **Введение**

На рудотермических производствах, как правило, используются однофазные трансформаторы с короткой сетью, питаемые междуфазным напряжением. Вторичная обмотка однофазных печных трансформаторов представлена в виде 4-8 изолированных расщеплений, и пакет трубошин короткой сети, изготавливается из соответствующего числа пар трубошин [1; 2; 3; 4; 5].

Основными электрическими повреждениями электрооборудования рудотермического производства являются витковые замыкания в первичной обмотке однофазного печного трансформатора, а также обрывы гибких связей и дуговые замыкания (ДЗ) в расщеплениях короткой сети. Это обусловлено тем, что вторичная обмотка печного трансформатора выполняется из нескольких изолированных друг от друга расщеплений. При этом короткая сеть имеет гибкие связи, а ее шинный пакет изготавливается из числа пар трубошин равного числу расщеплений печного трансформатора.

Газовая и максимальная токовая защиты однофазного печного трансформатора на трансформаторах тока (ТТ), которые применяются в настоящее время на рудотермических производствах, по разным причинам неэффективны. Короткая сеть на рудотермических производствах защищается от электрических повреждений при помощи электрической изоляции, наложенной на все трубошины. Такой способ защиты короткой

сети также является неэффективным в силу специфики условий среды на рудотермических производствах [5]. Были разработаны устройства защиты короткой сети рудотермического производства на МТТ [6; 7], которые эффективно защищают короткую сеть от обрывов гибких связей и дуговых замыканий в цепях расщеплений. Однако такие защиты не распространяются на печные трансформаторы.

### **Материалы и методы**

Для защиты электрооборудования рудотермического производства от витковых замыканий (ВЗ), а также от электрических повреждений в короткой сети предлагается использовать способ защиты, описанный в патенте «Способ защиты однофазного печного трансформатора с короткой сетью в виде группы шин от электрических повреждений» [8]. В основе этого способа [8] лежит измерение магнитных полей рассеяния обмоток трансформатора. Причем для выявления ВЗ в первичной обмотке однофазного печного трансформатора измеряют магнитное поле рассеяния обмоток трансформатора в плоскости Q, перпендикулярной ярмам его сердечника и проходящей через их середину, как это показано на рисунке 1 [8]. Чтобы выявить обрывы и ДЗ в расщеплениях короткой сети, необходимо измерить магнитные поля в плоскости R у верхнего и нижнего торцов одной из катушек трансформатора [8].

Для пояснения этого способа используется схема взаимного размещения элементов конструкции однофазного печного трансформатора с короткой сетью и МТТ, приведенная на рисунке 1.

Как видно из этого рисунка, печной трансформатор выполнен в виде ферромагнитного сердечника 1 с двумя идентичными катушками 2 и 3, размещенными на его стержнях 4 и 5 [8]. Каждая катушка состоит из половины многовитковой первичной обмотки 6 и витков 7-10 расщепленной вторичной обмотки. Каждое из расщеплений вторичной обмотки присоединяется к отдельной паре трубошин 11 короткой сети. Таким образом, замкнутые витки 12 в процессе эксплуатации трансформатора могут возникнуть только в его первичной обмотке, а ДЗ и обрыв в короткой сети – в цепях расщеплений.

При монтаже трансформатора части первичной и вторичной обмоток соединяются согласно – последовательно. Так как числа витков в обмотках этих катушек и токи в их витках в эксплуатационных режимах

трансформатора одинаковы, то их суммарное магнитное поле на плоскости  $Q$ , которая перпендикулярна ярам 13 и 14 сердечника 1 трансформатора и проходит через их середину, равно нулю. В случае возникновения виткового замыкания в первичной обмотке одной из катушек появляются замкнувшиеся витки. Ток в замкнувшихся витках сильно превышает ток в этих же витках до ВЗ. В результате дополнительно появится локальное магнитное поле рассеяния этих витков. При этом магнитное поле рассеяния катушек трансформатора на плоскости  $Q$  будет не равным нулю. Что позволяет выявить режим ВЗ в трансформаторе.

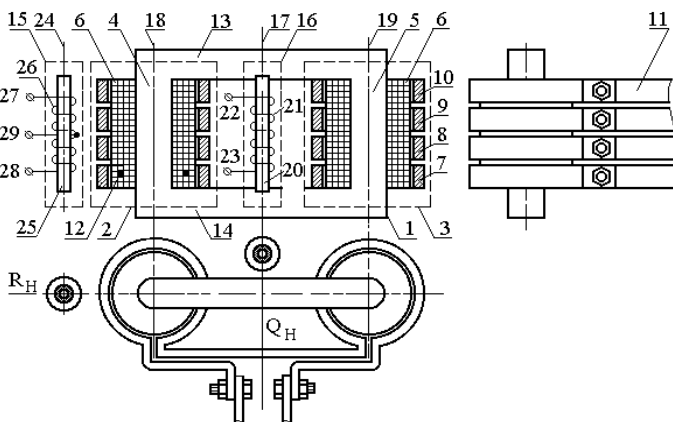


Рисунок 1 – Схема однофазного печного трансформатора с короткой сетью и МТТ

Схема устройства защиты однофазного печного трансформатора с короткой сетью, основанная на двух МТТ, представлена на рисунке 2 [8]. В соответствии с этой схемой начало 27 и конец 28 катушек МТТ 15 присоединены к крайним выводам переменного резистора 31, а средний вывод 29 этого МТТ и контакт 30 резистора 31 подключен к обмотке реле 32 [8]. Причем нормально разомкнутый контакт 33 этого реле соединен с отключающей цепью выключателя 34, а также с блоком индикации 35, на котором идентифицируется вид электрического повреждения. При отсутствии виткового замыкания в первичной обмотке 6 однофазного печного трансформатора, а также при отсутствии повреждений короткой



сети 11 переменный резистор 31 выставляет ток небаланса в реле 32, равный нулю,  $I_2 = 0$  [8].

Выводы 22 и 23 МТТ 16 соединены с обмоткой реле 36. Причем согласно [8] нормально разомкнутый контакт 37 реле 36 соединен с отключающей цепью 38 выключателя, а также с блоком индикации 35. Нормально замкнутый контакт 39, являющийся блокировочным, последовательно соединен с контактом 33 [8].

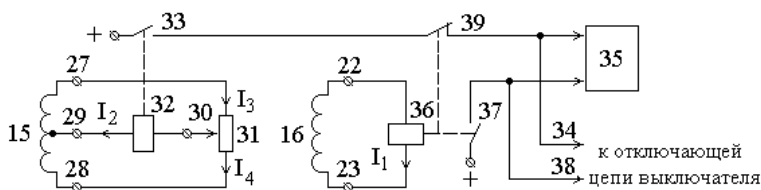


Рисунок 2 – Схема устройства защиты электрооборудования рудотермического производства от электрических повреждений

Устройство защиты [8] работает следующим образом: при отсутствии электрических повреждений в печном трансформаторе с короткой сетью 11 по одинаковому числу витков в обмотках 6, а также 7-10, расположенных на разных стержнях сердечника, протекают эквивалентные токи. При условии точного изготовления и установки этих обмоток токи в них будут индуцировать в обмотке МТТ 16 нулевую электродвижущую силу, при этом ЭДС верхней и нижней обмоток в МТТ 15 будут эквивалентны [8]. Таким образом, ток  $I_1$  в реле 36 будет нулевым, и контакты 37 и 39 будут находиться в исходном положении. Помимо этого, токи  $I_3$  и  $I_4$  будут эквивалентны, и, соответственно, их разность  $I_2$  в обмотке реле 32 также будет равняться нулю [8]. Контакты 33 реле 32 будут, соответственно, находиться в исходном положении. В этом эксплуатационном режиме сигналы с контактов реле 32 и 36 на отключение печного трансформатора от сети и в блоке 35 будут отсутствовать, на дисплее сообщение о повреждении не высветится [8]. Печной трансформатор с короткой сетью находится в работе.

В случае замыкания витков 12 в первичной обмотке однофазного печного трансформатора ток в них будет сильно отличаться от тока в остальной части первичной обмотки [8]. Это, в свою очередь, вызовет

перераспределение магнитного поля рассеяния поврежденной обмотки на стержне 4 и, как следствие, к возникновению ЭДС в обмотке МТТ 16. ЭДС верхней и нижней обмоток МТТ 15 не будут эквивалентны. Соответственно разность токов  $I_2$  и ток  $I_1$  в 32 и 36 будут отличаться от нуля, что вызовет срабатывание этих реле. Контакты 33 и 37 замкнутся, а контакт 39 наоборот разомкнется. Как следствие, в отключающей цепи 33 появится сигнал на отключение трансформатора от сети, а на дисплее блока 35 появится сообщение о повреждении: «витковое замыкание» [8].

В случае появления ДЗ в одной из пар трубок, например прикрепленной к расщеплению 10 вторичной обмотки, ток в ней увеличится и будет сильно превышать ток в расщеплениях 7-9 этой обмотки [8]. Это вызовет одинаковое перераспределение магнитного поля рассеяния в катушках 2 и 3, располагающихся на стержнях 4 и 5 трансформатора. В таком режиме ЭДС в обмотке МТТ 16 будет нулевой, в то время как электродвижущие силы верхней и нижней обмоток МТТ 15 будут отличаться друг от друга. В соответствии с этим, ток  $I_1$  в обмотке реле 36 будет равен нулю, и оно будет находиться в исходном положении. Поскольку токи  $I_3$  и  $I_4$  не равны между собой, то их разность  $I_2$  в обмотке реле 32 будет отличаться от нуля, и, следовательно, оно сработает. В таком режиме контакт 33 замкнется, а контакты 37 и 39 останутся в исходном положении. Как следствие, в отключающей цепи 38 сформируется сигнал на отключение трансформатора [8]. На блоке 35 появится аларменное сообщение: «повреждение короткой сети».

Для интеграции в общезаводскую сеть предлагаемого устройства защиты рудотермическую электрооборудования от электрических повреждений в качестве блока 35 предлагается использовать шкаф защиты на базе контроллера [9;10]. В рамках исследования профинансированного Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14972775) совместно с Научно-Производственной Firmой «СтройПроектИнновация», имеющей лицензию на выполнение данного вида работ, было разработано Техническое задание на изготовление шкафа защиты.

Как показано на рисунке 3 шкаф защиты представляет собой металлический корпус габаритами 500x400x220. В шкафу предусмотрена установка автоматического выключателя, реле напряжений, пускателя,

промышленного контроллера Trei-5B-05 в составе: мастер-модуль M911E, интеллектуальный модуль M932C.



Рисунок 3 – Общий вид шкафа защиты

На рисунке 4 представлена электрическая схема соединений шкафа. Согласно схеме шкаф защищается от внутренних замыканий автоматическим выключателем Schneider Electric. Сигналы от магнитных трансформаторов тока МТТ1 15 и МТТ2 16 защиты однофазного печного трансформатора и короткой сети подключаются к реле напряжений KL1 32 и KL2 36 и параллельно к аналоговым входам напряжения интеллектуального модуля M932C.

Выходные цепи реле напряжений подключаются к дискретным входам напряжения интеллектуального модуля. При их срабатывании интеллектуального модуля M932C принимает информацию о срабатывании защиты и отправляет сигнал на включение магнитного пускателя КМС1 марки LC1 D09M7. К выходным цепям пускателя КМС1 подключаются цепи отключения печного трансформатора.

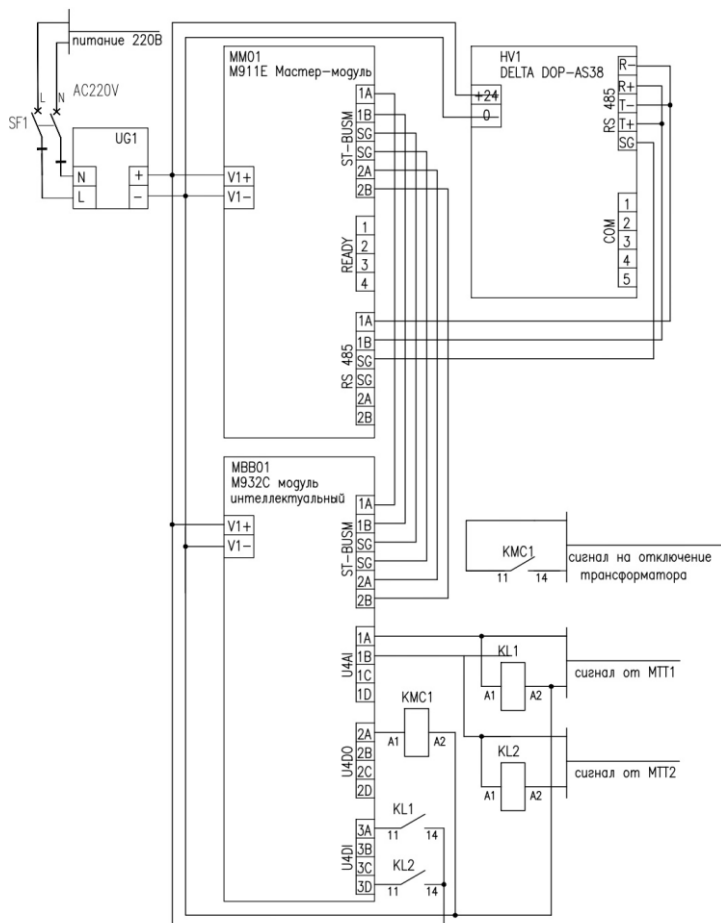


Рисунок 4 – Электрическая схема соединений шкафа

На двери шкафа защиты располагается HMI-панель оператора Delta DOP-AS38 для реализации человеко-машинного интерфейса. В качестве оболочки в панель оператора загружается разработанная специально для данной защиты мнемосхема, показанная на рисунке 5.

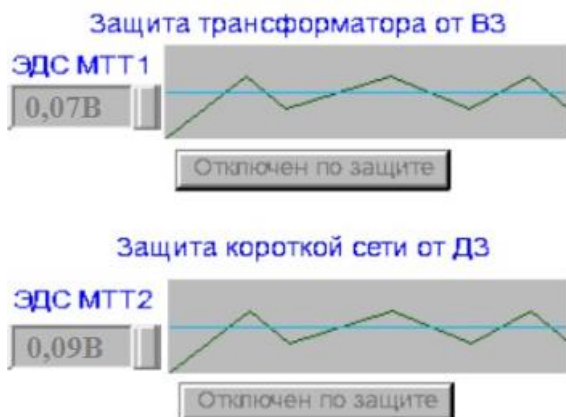


Рисунок 5 – Мнемосхема на экране НМІ панели

На панели отображается текущее значение ЭДС на выходе каждого МТТ, состояние защиты «Отключен по защите», принимающее соответствующее активное либо неактивное состояние. Так же панель выполняет функцию хранения данных о предыдущих срабатываниях защиты. Таким образом выполняется визуализация и местное управление.

Реализация дистанционного управления производится посредством интеграции шкафа защиты в общезаводскую систему мониторинга и управления с помощью интерфейса Ethernet либо ModBUS. Это позволяет реализовать дистанционную передачу данных о срабатывании защит на главные щиты управления производством, а так же получение сигнала на отключение трансформатора по общезаводской сети от оператора. При этом возможность интеграции в существующую сеть программно-технического комплекса (ПТК) не зависит от используемого оборудования верхнего уровня автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) производства.

### Результаты и обсуждения

Таким образом, предлагаемое в статье устройство токовой защиты электрооборудования рудотермического производства, основанное на двух МТТ, способно защитить однофазный печной трансформатор от ВЗ, а токопровод короткой сети от обрывов и ДЗ в ней. Также предлагаемая реализация интеграции устройства защиты на двух МТТ в

рудотермическую общезаводскую сеть позволит управлять защитой дистанционно и более наглядно.

### **Информация о финансировании**

Это исследование было профинансировано Министерством Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (ИРН АР14972775).

### **Выводы**

1. Основными электрическими повреждениями электрооборудования рудотермического производства являются витковые замыкания в первичной обмотке однофазного печного трансформатора, а также обрывы гибких связей и дуговые замыкания в цепях расщеплений короткой сети.

2. Представленное в работе устройство защиты электрооборудования рудотермического производства от электрических повреждений на двух МТТ может быть реализовано с помощью шкафа защиты на базе промышленного контроллера Треi-5В-05.

3. Использование шкафа защиты на базе промышленного контроллера позволяет реализовать интеграцию в общезаводскую сеть защиты электрооборудования рудотермического производства на двух МТТ от электрических повреждений. Шкаф защиты позволяет реализовать как местное, так и дистанционное управление защитой.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Ермилов, А. А.**, Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 208 с.

2 **Евтюкова, И. П., Кацевич, Л. С., Некрасова, Н. М.** Электротехнологические промышленные установки. – М. : Энергоиздат, 1982. – 400 с.

3 **Данцис, Я. Б., Кацевич, Л. С., Жилов, Г. М.** Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. – Москва : Изд-во Металлургия, 1987. – 320 с.

4 **Смелянский, М. Я.** Короткие сети электрических печей / М. Я. Смелянский, Н. И. Бортничук. – Ленинград : Изд-во Госэнергоиздат, 1962. – 96 с.

5 **Рахимбердинова, Д. М., Новожилов, А. Н., Колесников Е. Н., Новожилов, Т. А.** Совершенствование токовых защит короткой сети

рудотермического производства на магнитных трансформаторах тока // Вестник Торайгыров университета. – 2023. – № 4. – С. 311-321.

6 **Rakhimberdinova, D. M., Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Kislov, A. P.** Protection of the Short Network of the Ore Thermal Furnace Against Short Circuits // AIP Conf. Proc. – 2021. – 2337 (030011) <https://doi.org/10.1063/5.0046557>.

7 **Rakhimberdinova, D., Novozhilov, A., Kolesnikov, E., Andreeva, O., Talipov, O., Kislov, A.** Arc Fault Protection of the High-Current Busbar Assembly of an Ore Furnace // Energies. – 2023. – 16 (7834) <https://doi.org/10.3390/en16237834>.

8 Иннов. пат. 2713204 RU. Способ защиты однофазного печного трансформатора с короткой сетью в виде группы шин от электрических повреждений / Т. А. Новожилов, В. Н. Горюнов, А.Н. Новожилов, Д. М. Рахимбердинова; опублик. 04.02.2020, Бюл. №4. – 5 с.

9 **Петров, И. В.** Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования [Текст]. – Москва : Изд-во Солон-пресс, 2020. – 254 с.

10 **Сергеев, А. И., Черноусова, А. М., Русяев, А. С.** Программирование контроллеров систем автоматизации [Текст]. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 125 с.

## REFERENCES

1 **Ermilov, A.,** Osnovy elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatij [Fundamentals of Power Supply of Industrial Enterprises]. – Moscow : Energoatomizdat, 1982. – 208 p.

2 **Evtyukova, I., Kacevich, L., Nekrasova, N., Svenchanskij A.** Electrotechnological industrial installations [Elektrotehnologicheskije promyshlennye ustanovki]. – Moscow : Energoizdat, 1982. – 400 p.

3 **Dancis, Ya. B., Kacevich, L. S., ZHilov, G. M.** Korotkie seti i elektricheskie parametry dugovykh elektropechej [Short networks and electrical parameters of electric arc furnaces]. – Moscow : Izd-vo Metallurgiya, 1987. – 320 p.

4 **Smelyanskij, M. Ya., Bortnichuk, N. I.** Korotkie seti elektricheskikh pechej [Short networks of electric ovens]. – Leninrgad : Izd-vo Gosenergoizdat, 1962. – 96 p.

5 **Rahimberdinova, D. M., Novozhilov, A. N., Kolesnikov, E. N., Novozhilov, T. A.** Covershenstvovanie tokovyh zashchit korotkoj seti rudotermicheskogo proizvodstva na magnitnyh transformatorah toka [Improvement of current protection of a short network of ore thermal production on magnetic current transformers] // Vestnik Torajgyrov universiteta. – 2023. – № 4. – P. 311-321

6 **Rakhimberdinova, D. M., Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Kislov, A. P.** Protection of the Short Network of the Ore Thermal Furnace Against Short Circuits // AIP Conf. Proc. – 2021. – 2337 (030011) <https://doi.org/10.1063/5.0046557>.

7 **Rakhimberdinova, D., Novozhilov, A., Kolesnikov, E., Andreeva, O., Talipov, O., Kislov, A.** Arc Fault Protection of the High-Current Busbar Assembly of an Ore Furnace // Energies. – 2023. – 16 (7834) <https://doi.org/10.3390/en16237834>.

8 Innov. pat. 2713204 RK. Sposob zashchity odnofaznogo pechnogo transformatora s korotkoj set'yu v vide gruppy shin ot elektricheskikh povrezhdenij / T. A. Novozhilov, V. N. Goryunov, A. N. Novozhilov, D. M. Rahimberdinova; opubl. 04.02.2020, Byul. №4. – 5 p.

9 **Petrov, I. V.** Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo proektirovaniya [Programmable controllers. Standard languages and techniques of applied design]. – Moscow : Izd-vo Solon-press, 2020. – 254 p.

10 **Sergeev, A. I., Chernousova, A. M., Rusyaev, A. S.** Programmirovaniye kontrollerov sistem avtomatizacii [Programming of automation system controllers]. – Orenburg: OGU, 2016. – 125 p.

Поступило в редакцию 01.05.24

Поступило с исправлениями 01.05.24

Принято в печать 02.06.24



\*Д. М. Рахимбердинова<sup>1</sup>, Л. Б. Тюлюгенова<sup>1</sup>, М. Т. Азаматов<sup>1</sup>,  
Л. Н. Есмаханова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>2</sup>М. Х. Дулати атындағы Тараз аймақтық университеті,

Қазақстан Республикасы, Тараз қ.

01.05.24 ж. баспаға түсті.

01.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ЕКІ МТТ КЕНДІ ЖЫЛУ ӨНДІРІСІНІҢ ЭЛЕКТР ЖАБДЫҚТАРЫН ЭЛЕКТР ЗАҚЫМДАНУЫНАН ҚОРҒАУДЫҢ ЖАЛПЫ ЗАУЫТТЫҚ ЖЕЛІСІНЕ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ**

*Жоғары сапалы болат өндірісінде ферроқорытпалар өте маңызды. Қазіргі уақытта болаттар құрылыс өнеркәсібінде, машина жасау өнеркәсібінде, автомобиль өнеркәсібінде, металл өндірісінде, электр жабдықтарында, тұрмыстық техникада және басқа салаларда қолданылады. Осыған сүйене отырып, болат балқыту өндірісі ферроқорытпа өнеркәсібінің жағдайына тікелей байланысты. Сондықтан ферроқорытпалар өндірілетін кентермиялық өндірістердің электр жабдықтарын релелік қорғау өзекті мәселе болып табылады. Мақалада бір фазалы рудотермиялық пеш трансформаторының бастапқы орамасындағы айналмалы тұйықталулардан, сондай-ақ оның қысқа желісінің құбырларының жұптарындағы үзілістер мен догалық тұйықталулардан жоғары сезімтал қорғаныс ұсынылады. Бұл қорғаныс екі магниттік ток трансформаторының (МТТ) көмегімен жүзеге асырылады. Сондай-ақ, бұл қорғаныс құрылысын екі МТТ-ға зауыттық кентермиялық өндіріс желісіне біріктіру ұсынылады. TREI-5B-05 өнеркәсіптік контроллеріне негізделген қорғаныс шкафы бір фазалы пеш трансформаторының бастапқы орамындағы айналмалы тұйықталудан, сондай-ақ қысқа желідегі үзілістер мен догалық тұйықталудан қорғауды жергілікті және қашықтан басқаруды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Адам-машина интерфейсін жүзеге асыру үшін Delta DOP-AS38 HMI*

*панелін пайдалану ұсынылады, соның арқасында визуализация және жергілікті басқару жүзеге асырылады.*

*Кілтті сөздер: рудотермиялық пеш, пеш трансформаторы, қысқа желі, Шина пакеті, құбыр шиналары, өлшеу түрлендіргіші, магниттік Ток трансформаторы, Қорғаныс тізбектері, шкаф, контроллер.*

*\*D. M. Rakhimberdinova<sup>1</sup>, L. B. Tyulyugenova<sup>1</sup>, M. T. Azamatov<sup>1</sup>,  
L. N. Yesmakhanova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2</sup>Taraz Regional University named after M. H. Dulati,  
Republic of Kazakhstan, Taraz

Received 01.05.24

Received in revised form 01.05.24

Accepted for publication 02.06.24

## **INTEGRATION INTO THE FACTORY-WIDE NETWORK OF PROTECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF ORE-THERMAL PRODUCTION ON TWO MTTs FROM ELECTRICAL DAMAGE**

*In the production of high-quality steel, ferroalloys are of paramount importance. Currently, steels are used in the construction industry, the machine-building industry, the automotive industry, the manufacture of metal products, electrical equipment, household appliances and other fields. Based on this, steelmaking production directly depends on the state of the ferroalloy industry. Therefore, relay protection of electrical equipment of ore-thermal industries where ferroalloys are produced is an urgent issue. The article proposes highly sensitive protection against winding circuits in the primary winding of a single-phase furnace transformer of ore-thermal production, as well as against breaks and arc circuits in pairs of pipes of its short network. This protection is implemented using two magnetic current transformers (MTT). It is also proposed to integrate this protection device on two MTTs into the plant-wide network of ore thermal production. The protection cabinet based on*

*the Trei-5B-05 industrial controller allows you to implement both local and remote control of protection against loop faults in the primary winding of a single-phase furnace transformer, as well as against breakages and arc circuits in a short network. To implement the human-machine interface, it is proposed to use the Delta DOP-AS38 HMI panel, thanks to which visualization and local management are performed.*

*Keywords: ore-thermal furnace, furnace transformer, short circuit, busbar package, pipe shafts, measuring converter, magnetic current transformer, protection circuits, cabinet, controller.*

МРНТИ: 44.01.05

<https://doi.org/10.48081/WOAT8087>

**\*Н. Т. Рустамов<sup>1</sup>, А. Н. Бергузинов<sup>2</sup>, О. Д. Меирбекова<sup>1</sup>,  
Г. А. Тулебаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Республика Казахстан, г. Туркестан;

<sup>2</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

\*e-mail: [nasim52@mail.ru](mailto:nasim52@mail.ru)

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСНОВАННАЯ НА ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

*Развитие малой энергетики (МЭ) или распределенная генерация (РГ) стимулирует ученых, конструкторов и инженеров создавать новые установки генерирующих энергии. В работе рассматривается одна из таких установок, работающая на биогазе, являющаяся возобновляемым источником энергии. При этом, говорится, что газотурбинный двигатель (ГТД), работающий на биогазе, впервые как когенеративный РГ применялся для отопления теплицы. Описывая конструкции такой РГ, отмечается, что при получении биогаза из сельскохозяйственных и животноводческих отходов, как вторичный материал получается гумус как урожайный грунт необходимый для тепличного хозяйства. Показана возможность управления таким когенеративным РГ, работающей на базе ГТД, с помощью передаточной функции. Проведен анализ полученных результатов эксперимента на модельном экземпляре предложенной когенеративной РГ.*

*Также в работе рассматривается вопрос, связанный с созданием гибридной системы распределенной генерации (РГ), работающей на газотурбинном двигателе, отличающийся от существующих подобных РГ, где топливом для ГТД используется*

*биогаз, полученный из животноводческих и сельскохозяйственных отходов. Отмечается, что когда гибридная РГ конструируется на базе ГТД, работающего на биогазе, на выходе можно получить не только тепловую и электрическую энергию, но и урожайный грунт, необходимый в тепличных хозяйствах. Приводится математическая модель РГ, основанная на передаточной функции предлагаемой системы.*

*Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гибридная энергосистема, биогаз, газотурбинный двигатель, региональная генерация, математическая модель, управление, эксплуатация системы.*

## **Введение**

Опыт использования когенеративной РГ, работающей на базе биогаза, показал на практике некоторые трудности, возникающие проблемы, связанные с управлением такими системами. В текущем сценарии наблюдается быстрое истощение запасов ископаемого топлива, что делает ископаемое топливо ненадежным источником. Существуют и другие неблагоприятные проблемы, такие как изменение климата, увеличение концентрации выбросов  $\text{CO}_2$ , которые неизбежно приводят к продвижению возобновляемых источников энергии (ВИЭ). ВИЭ, такие как солнце, ветер и биомасса, играют жизненно важную роль в добыче электроэнергии. Например, Индия имеет достаточно возможностей для использования энергии из возобновляемых источников. Совокупное достижение grid interactive и off grid interactive возобновляемые источники энергии в Индии составляют около 37413,70 МВт и 1219,61 МВт соответственно по состоянию на 30.09.2015 [1].

Газовые турбины становятся основным оборудованием для выработки электроэнергии благодаря их длительному сроку службы и топливной гибкости. Для успешной выработки электроэнергии с использованием газовой турбины требуются особые требования к составу газа и концентрации смолы в биомассе. Следовательно, установка на биомассе является приемлемым вариантом для удовлетворения текущего спроса на энергию.

С другой стороны, из-за эффективности применения РГ и уход от централизованного энергоснабжения, все становится понятным, что для управления такими системами проектирования виртуальных электростанций (smart grid) просто необходимо. Такая тенденция сегодня наблюдается в энергетических системах развитых стран Европы, США и Азии [2]. По определению, РГ – генерация электрической энергии в близости потребителя. Здесь, мы хотели отметить, что потребители, находящиеся на расстоянии, нуждаются не только в электрической энергии, но и в тепловой энергии. Такое положение дел, требует конструировать систему когенеративных РГ, работающих на базе ВИЭ [3]. Еще можно отметить, что роль виртуальных электростанций заключается в обеспечении энергетического баланса мощности на основе спроса и предложения потребителя [4].

В данной работе предлагается система РГ, работающая на базе газотурбинного двигателя, в котором используется биогаз в качестве топлива. Такой инновационный метод создания РГ предложен впервые [5]. Что интересно, в этом случае, результатом работы системы РГ будет не только выработка электрической и тепловой энергии, но и выработка урожайного грунта для тепличного хозяйства. В этом случае возникает задача, связанная оптимальным управлением созданной гибридной РГ. Традиционно такая задача решается созданием математической модели управления технической системой.

Целью работы является создания гибридной РГ работающей в режиме когенерации и ее математической модели, основанной на передаточной функции.

### **Материалы и методы**

Для гибридной системы РГ можно успешно использовать ГТД, для генерации не только электрической, но и тепловой энергии. Если в качестве топлива использовать биогаз, то вторичным отходным материалом можно получить урожайный грунт, который очень востребован в тепличном хозяйстве. Если на пути выхлопного газа ГТД (рис.1) прикрепить тепловую батарею, то из выбрасываемой 50% тепловой энергии можно отобрать полезное тепло. Воспользуясь этим свойством, ГТД можно конструировать в эффективно работающую гибридную систему РГ.

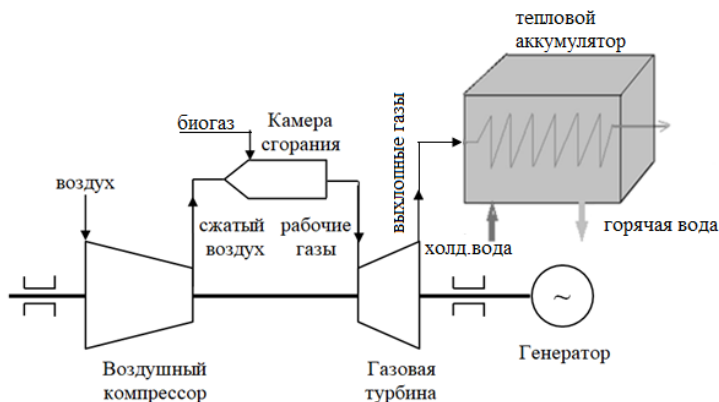


Рисунок 1 – ГТД с тепловым аккумулятором

Если в ГТД как топливо использовать биогаз, полученный из отходов сельскохозяйственных и животноводческих хозяйств, то можно получить вторичный отходный материал в виде урожайного грунта – гумус. Использование биогаза как топлива в ГТД, имеет большое преимущество. Так как отходный материал, получающийся из биореактора, после брожения первичных отходов, является вторичный отходный материал, являющийся ценным агропродуктом – гумусом.

Объектом моделирования в нашем случае является гибридная система РГ, работающая на базе ГТД, где топливом является биогаз [6]. Суть модели заключается в определении поведения «вход-выход» микрогазотурбинной системы с разумной точностью при низкой вычислительной сложности.

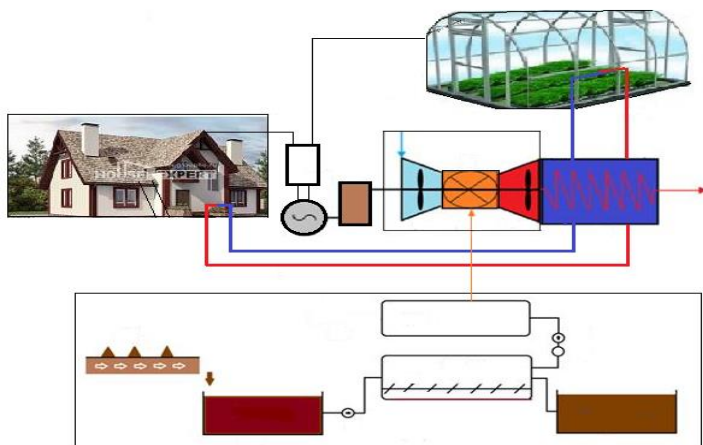


Рисунок 2 – Отопление теплицы гибридной энергосистемой

Это модуль выработки биогаза  $V$ , связанный с заполнением газгольдера. Второй модуль вырабатывающий электрическую мощность  $P$  и тепловую энергию  $Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)$ .

Роуэн разработал математическую модель установки ГТД большой мощности в 1983 году. На рисунке 3 представлена функциональная блок-схема однофазного HDGT с топливной системой и контроллерами.

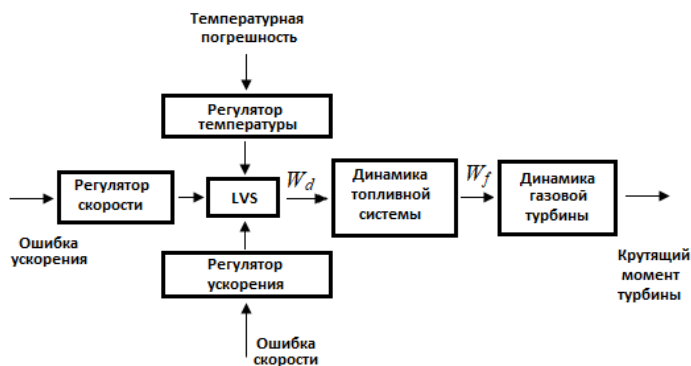


Рисунок 3 – Функциональная блок-схема однофазного HDGT с топливной системой и контроллерами.



Когда проектируется когенеративная РГ выходные влияния внешней среды  $E$  и внутренние характеристики генерирующей системы показывают не зависимость имеющая векторное свойство  $\vec{x}(t)=(x_1(t), x_2(t), \dots x_n(t))$ , при этом выходящие параметры проявляет зависимость имеющая тоже векторную форму

$\vec{y}(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots y_n(t))$ . А сам процесс работы когенеративной РГ можно представить в виде оператора  $K_i$ , который преобразует эти вектора, т.е.

$$\vec{y}(t) = K_i(\vec{x}(t)) \quad (1)$$

Оператор  $K_i$  по своей сути отражает физические свойства эндогенных переменных при преобразовании их в экзогенные. В нашем случае  $K_i$  оценивается экспериментальным путем или из таблиц, где уже определены свойства этих переменных. Оценка значения коэффициента  $K_i$  зависит от того, какое допущение сделали при моделировании исследуемого объекта. Понятно, что допущения при математическом моделировании зависят от постановки решаемой задачи и от нужного используемого результата [7].

На основе этих соображений создадим математическую модель гибридной распределенной генерации (ГРГ). Гибридная система РГ состоит из трех звеньев. Выходным звеном является звено выработки биогаза  $V(Q_M, \vec{y}(t))$  и гумуса  $\Gamma(\vec{y}(t))$ .

Построение математической модели процесса производства биогаза характеризует скорость образования биогаза ( $V_c, \text{м}^3/\text{кг}$  сут), которая зависит от технологических параметров анаэробной обработки навоза [8]:

$$V_c = \frac{V_{\sigma} S}{\tau_c} \left( 1 - \frac{k_s}{\mu \tau_c - 1 + k_w} \right) \mu \quad (2)$$

где  $V_{\sigma}$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ) – предельный выход биогаза из органических веществ в навозе;  $\mu$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$  сут).

Введем коэффициент характеризующий тип навоза  $K_i$ . Так как нам нужен тип навоза, значит входным параметром будет животноводческие и сельскохозяйственные отходы  $Q_M(K_i, \vec{x})$  математическая модель этого звена [9]:

$$\frac{\partial Q_M}{\partial t} = K_i \cdot (V_c(\vec{y}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))) \quad (3)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots$

Второе звено, это звено ГТД, в котором получаем электрическую энергию  $P(I, U)$  и выхлопной газ, т.е. тепловую энергию  $Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)$ . Уравнение этого звена:

$$\frac{\partial (V_c(\vec{y}(t)))}{\partial t} = K_i \cdot (P(I, U) + Q(m, \Delta T)) \quad (4)$$

Третье звено изъятия полезной тепловой энергии  $Q_m(\Delta T)$  из  $Q_M(K_i, \vec{x})$

$$\frac{\partial Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)}{\partial t} = K_i \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{выхл. газ})) \quad (5)$$

Таким образом работа гибридной системы РГ описывается тремя уравнением

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_M}{\partial t} = K_1 \cdot (V_c \vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t)) \\ \frac{\partial (V_c(\vec{y}(t)))}{\partial t} = K_2 \cdot (P(I, U) + Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)) \\ \frac{\partial Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)}{\partial t} = K_3 \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{выхл. газ})) \end{cases} \quad (6)$$

введем обозначение  $\frac{\partial}{\partial t} = k$ .

В конечном счете передаточная функция

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M(K_i, \vec{x})} \quad (7)$$

здесь  $Q_m(\Delta T)$  - полезное тепло,  $Q_{\text{пол}}(\Delta T)$  – общее выработанное тепло.

$$\begin{cases} kQ_M = K_1 \cdot (V_c(\vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))) \\ kV_c(\vec{y}(t)) = K_2 \cdot (P(I, U) + Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)) \\ kQ_{\text{теп}}(m, \Delta T) = K_3 \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{выхл. газ})) \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения (8) будет математической моделью гибридной системы РГ. Здесь можно не учитывать тепловую энергию, уносящий выхлопной газ. При этом  $Q_M = Q_{\text{теп}}(m, \Delta T) + \text{выхлоп. газ.}$ , в свою очередь  $Q_{\text{теп}}(m, \Delta T) = Q_m(\Delta T) + \text{выхлоп. газ.}$  Тогда  $Q_m(\Delta T)$  является полезной тепловой энергией. Введем коэффициенты характеризующие свойства звеньев, коэффициенты  $K_1$  – зависит от состава отхода,  $K_2$  – зависит от КПД газотурбинного двигателя,  $K_3$  – зависит от степени сжатия воздушного компрессора. Из (8) находим передаточную функцию  $W$  для РГ:

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M} \quad (9)$$

где передаточная функция гибридной системы РГ выглядит следующим образом:

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M} = \frac{\frac{k^2 V_c(\vec{x}(t)) - kP(I, U)}{K_2 K_3}}{\frac{K_1 \cdot (V_c(\vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t)))}{k}} = \frac{(k^2 V_c(\vec{x}(t)) - kP(I, U))k}{K_2 K_3 (K_1 \cdot (V_c(\vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))))} \quad (10)$$

Для оценки  $Q_m(\Delta T)$  нужна будет модель ГТД. С помощью этой модели оценим поведение выходной температуры выхлопного газа ГТД.

Существует множество способов построения математических моделей ГТД [10]. Различные типы моделей время от времени разрабатывались с использованием разных подходов и для разных целей. В нашем случае, математическая модель ГТД нужна для определения зависимости температуры выхлопного газа с мощности ГТД, или зависимости температуры выхлопного газа со скоростью оборотом турбины. В свою очередь такая зависимость зависит от объема биогаза  $V_c(\vec{y}(t))$  и от свойств параметров  $\vec{y}(t)$ . Так как цель нашей модели – это оценка тепловой энергии  $Q_{\text{теп}}(T_2)$  выхлопного газа, получаемый из начального отхода  $Q_M$  и получаемый  $Q_m(\Delta T)$  полезное тепло, вычитанный из  $Q_{\text{теп}}(T_2)$ , где  $(\Delta T) = T_2 - T_3$ , здесь  $T_3$  – это температура газа выбрасываемая в атмосферу.

Для нашей математической модели нужна оценка температуры  $T_2$  тепловой энергии  $Q_{\text{теп}}$  получаемой из начального отхода  $Q_M$ .

Таким образом, термический КПД ГТД можно определить из выражения:

$$\mu_{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (11)$$

где  $T_1$ ,  $T_2$ -температура рабочего тела (газа) на входе и на выходе из турбины, соответственно, приближенно температуру газов на выходе турбиной можно найти по простому соотношению:

$$\frac{T_1}{T_2} = \pi_k^{0.25} \quad (12)$$

где  $\pi_k = p_{\text{вх}}/p_{\text{вых}}$  – степень сжатия воздушного компрессора, которая определяется как отношение давления за компрессором  $p_{\text{вых}}$  к давлению перед ним  $p_{\text{вх}}$ . Например, для ГТД со степенью сжатия  $\pi_k = 14$  и температурой перед турбиной:

$T_1 = 1300^\circ\text{C}$ , температура за ней составит примерно:

$$T_2 = \frac{T_1}{\pi_k^{0.25}} = \frac{1300}{14^{0.25}} = 672^\circ\text{C} \quad (13)$$

Термический КПД ГТД для этих условий:

$$\mu_{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1300 - 672}{1300} = 48\% \quad (14)$$

### Результаты и обсуждение

Термический КПД действующих ГТД составляет от 40 до 65%, однако реальный КПД электростанций такого типа не превышает 35%. Относительно невысокие значения КПД ГТД обусловлены значительными потерями тепла, выбрасываемыми в дымовую трубу (из-за высокой температуры) уходящих газов и большими потерями энергии, затрачиваемыми в компрессоре на сжатие воздуха (для сжатия воздуха требуется значительно больше энергии, чем для сжатия воды).

Нам нужно оценить температуру  $T_2$ . Поэтому мы можем пользоваться математической моделью, составленной на программе, такие как Simulink, MATLAB, которые используются для указанной цели. На рисунке 4 показана структурная схема ГТД.

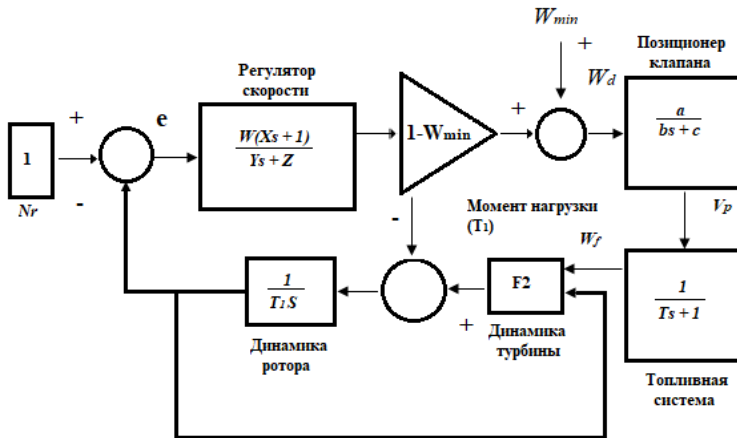


Рисунок 4 –Упрощенная структурная схема ГТД созданный в Matlab Simulink

На основе этой модели оцениваем выходную температуру  $T_1$  передающуюся на тепловой аккумулятор. Эту температуру находим на основе графиков приведенной на рисунке 10. Для параметров ГТД  $T=1000$  К,  $P=0,101$  МПа, находим выходные параметры ГТД.

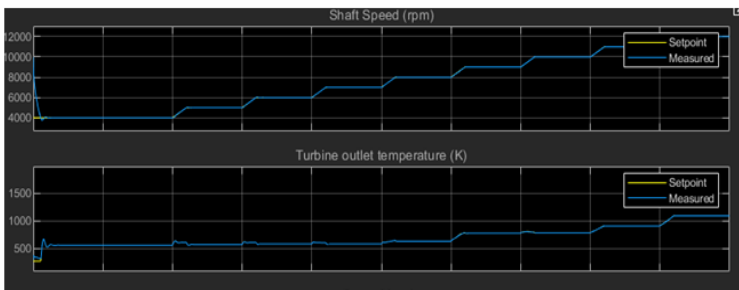


Рисунок 9 – Результаты для входа:  $T_1=1000$  К,  $P= 0,101$  Мпа, выход будет:  $T_2=1500$  К,  $P=0,201$  Мпа

Из графика можно найти значение температур  $T_2$ . График на рисунке 9 получается на основе передаточной функции приведенной формуле (10).

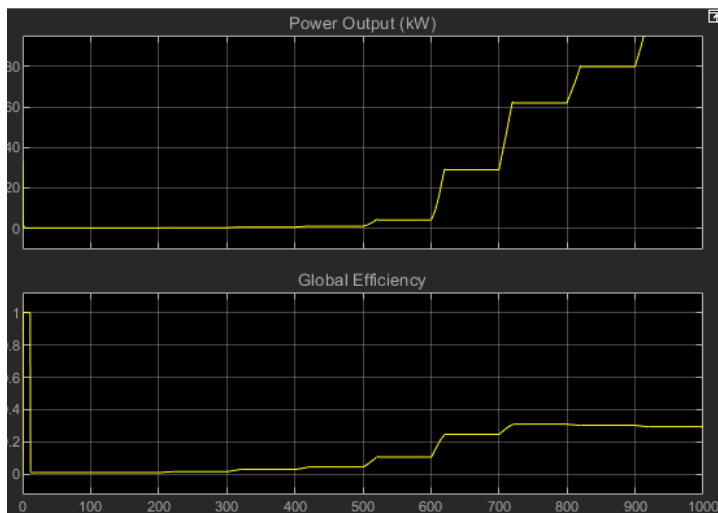


Рисунок 10 – Соответствующая мощность вала и КПД компрессора

При использовании биогаза объемом 1 л постоянная работа производила 3,3 кВт электроэнергии в час и 3500 ккал тепла одновременно. Получение электрической и тепловой энергии контролируется подачей газа и воздуха. Если использовать большой бытовой баллон 30 л, то мы получим около 95 кВт электроэнергии с рабочим циклом 30-35 часов и получим  $330 \times 10^3$  ккал тепла в зависимости от местной температуры.

При этом, тепловой аккумулятор имел размерность  $2 \times 2 \times 3$  м (рисунок 1). Если температура выхлопного газа равна, допустим  $700^\circ\text{C}$ , тогда тепловая энергия на тепловом аккумуляторе рассчитывается по формуле:

$$Q = cm(700 \text{ C}^0) \quad (15)$$

Если учесть, что для воды  $c$  равно  $4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$ , то не трудно рассчитать массу воды находящуюся в тепловом аккумуляторе.

Объем теплового аккумулятора  $12 \text{ м}^3$ , а масса воды в нем  $14,4 \text{ кг}$ .

$$Q_m(\Delta T) = \frac{4200 \text{ Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 14,4 \text{ кг} \cdot 700 \text{ C}^0 = 42336000 \text{ Дж} = 42,336 \text{ МДж}$$

Опыт показал, что из  $1\text{ м}^3$  биогаза можно получить приблизительно 25 МДж тепла (получаем тепло  $330 \times 10^3$  ккал).

При подключении к распределительной сети ГРГ одной из основных задач является распределение нагрузок генерирующего генератора. Это осуществляется следующим образом:

Определяется от типа ГТД потенциально возможное генерирование мощности ГРГ.

Определяются потери активной мощности, потери активной мощности при передаче потенциально возможной сгенерированной электрической энергии ГРГ потребителю.

Если суммарная мощность генерируемой ГРГ электроэнергии не меньше нагрузки потребителя, то все это покрывается за счет ГТД.

Если есть избыток энергии, то он передается батарее для накопления энергии (БНЭ). В случае, когда БНЭ уже полностью заполнен, на соответствующую величину уменьшается мощность ГТД.

Если общая мощность ГТД вырабатываемой электрической энергии меньше нагрузки потребителей, нехватка мощности покрывается за счет БНЭ.

### **Выводы**

Наличие большого запаса сельскохозяйственных, животноводческих и растениеводческих отходов в нашей стране, побудило нас использовать эти отходы в виде ВИЭ, для получения тепловой, электрической энергии и урожайного грунта, необходимое для тепличных хозяйств. С помощью предложенной гибридной РГ можно решить следующие задачи, дающие практический выход:

1) Появилась возможность использования биоотходов для получения тепловой и электрической энергии низкой по себестоимости.

2) Доказали возможность использования биогаза получаемого из биоотходов в качестве топлива для ГТД работающей в гибридной системе РГ. При этом выяснилось еще одно преимущество предложенной гибридной системы РГ.

Выдвинутая концепция создания математической модели гибридной РГ запатентована и показала свою работоспособность. Построенная математическая модель гибридной системы РГ дает возможность оценки зависимости входного отхода выраженной в измерениях энергии, от

полезно выходной тепловой энергии  $Q_m(\Delta T)$ . Для такой оценки построена передаточная функция гибридной системы РГ. Необходимые нужные вычислительные параметры определяется с помощью программы, созданной в Matlab Simulink.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Меирбекова, О. Д., Рустамов, Н. Т.** К вопросу создания гибридных энергетических систем. // Журнал «Проблемы информатики и энергетики», Ташкент, 2022. – С. 83.– 90.

2 **Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, AskhatBerguzinov.** Creation of a hybrid power plant operating on the basis of a gas turbine engine. / eastern-european journal of enterprise technologies ISSN 1729-3774 2/8 ( 116 ) 2022. – 29.– 37.

3 **Ekstrom, T. E. and Garrison, P. E.,** «Large Gas Turbines for Mechanical Drive Applications», GER-3701, GE Company, Schenectady, NY, August 1991

4 **Рустамов, Н. Т., Конусов, Б. Р., Рустамов, Е. Н.** Создание гибридного источника энергии / Вестник МКТУ имени А. Ясауи, № 1(81), 2013. С .69–72.

5 Пат. № 7970 Республика Казахстан. Гибридная система для выработки тепловой и электрической энергии / Н. Т. Рустамов; А. Т. Мейрбеков; Н. Р.Авезова; О. Д. Меирбекова; Ш. А. Бабахан; зарегистрирован РК 24.11.2022 г., опубл. 24.11.2022г.

6 Пат. № 29833 Республика Казахстан. Способ всесезонного электроснабжения теплицы из альтернативного источника энергии / Н. Т. Рустамов; А. Т. Мейрбеков; Д. Меирбекова; зарегистрирован РК 29.10.2021., опубл 04.01.2022г.

7 **Стенников, В. А.** Централизованная и распределенная генерация - не альтернатива, а интеграция / В. А. Стенников, Н. И. Воропай //Известия РАН. Энергетика. – 2014. – № 1. – С. 64–73.

8 **Щеклеин, С. Е., Дубинин, А. М.** Сравнительный анализ удельных показателей когенерационной газотурбинной установки, работающей на продуктах окисления алюминия и бора / Международный научный журнал



«Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE) – 2019. – № 28–33 (312–317). С. 73–85.

9 **Patton, R. J., Simani, S., Daley, S. and Pike, A.**, (2000). Fault Diagnosis of a Simulated Model of an Industrial Gas Turbine Prototype Using Identification Techniques. // IFACProceedings Volumes, 33(11), P.511–516.

10 **Ожогова, Е. В., Лубенцова, Е. В., Лубенцов, В. Ф.** Математическое моделирование тепловых процессов в трубчатом электронагревателе биореактора // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 4. – С. 74–82.

## REFERENCES

1 **Meirbekova, O. D., Rustamov, N. T.** К вопросу созданиya гибридных энергетических систем [On the issue of creating hybrid energy systems]. // Журнал «Проблемы информатики и энергетики», Tashkent, 2022, №3. .P. 83.– 90.

2 **Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, AskhatBerguzinov.** Creation of a hybrid power plant operating on the basis of a gas turbine engine. / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 2/8 (116) 2022. – 29.– 37.

3 **Ekstrom, T. E. and Garrison, P. E.**, «Large Gas Turbines for Mechanical Drive Applications», GER-3701, GE Company, Schenectady, NY, August 1991

4 **Rustamov, N. T., Konusov, B. R., Rustamov, E. N.** Sozdanie gibridnogo istochnika energii / Vestnik MKTU im. A. Yasau, # 1(81), 2013, P. 69-72.

5 Pat. № 7970 Respublika Kazakhstan. Gibridnaya sistema dlya vy`rabotki teplovoj i elektricheskoy energii [Hybrid system for generating thermal and electrical energy] / N. T. Rustamov; A. T. Mejrbekov; N. R.Avezova; O. D. Meirbekova; Sh. A. Babakhan; zaregistrirovan RK 24.11.2022g., opubl. 24.11.2022g.

6 Pat. # 29833 Respublika Kazakhstan. Sposob vsesezonnogo elektrosnabzheniya teplicy` iz al`ternativnogo istochnika energii [Method of all-season power supply to a greenhouse from an alternative energy source] / N. T. Rustamov; A. T. Mejrbekov; D. Meirbekova; zaregistrirovan RK 29.10.2021., opubl 04.01.2022g.

7 **Stennikov, V. A.** Centralizovannaya i raspredelennaya generacziya - ne al'ternativa, a integracziya / V.A. Stennikov, N. I. Voropaj //Izvestiya RAN. E`nergetika. – 2014. – # 1. – P. 64–73.

8 **Shheklein, S. E., Dubinin, A. M.** Sravnitel'ny`j analiz udel'ny`kh pokazatelej kogeneracionnoj gazoturbinoj ustanovki, rabotayushhej na produktakh okisleniya alyuminiya i bora [Comparative analysis of specific indicators of a cogeneration gas turbine unit operating on aluminum and boron oxidation products] / Mezhdunarodny`j nauchny`j zhurnal «Al'ternativnaya e`nergetika i e`kologiya» (ISJAEE)- 2019. -# 28-33 (312-317), P. 73-85.

9 **Patton, R. J., Simani, S., Daley, S. and Pike, A.,** (2000). Fault Diagnosis of a Simulated Model of an Industrial Gas Turbine Prototype Using Identification Techniques. IFACProceedingsVolumes, 33(11), P.511-516.

10 **Ozhogova, E. V., Lubentsova, E. V., Lubentsov, V. F.** Mathematical modeling of thermal processes in a tubular electric heater of a bioreactor//Modern high-tech technologies. – 2022. – No. 4. – P. 74-82.

Поступило в редакцию 15.03.24

Поступило с исправлениями 19.03.24

Принято в печать 02.06.24

*\*Н. Т. Рустамов<sup>1</sup>, А. Н. Бергузинов<sup>2</sup>, О. Д. Меурбекова<sup>1</sup>,  
Г. А. Тулебаева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,  
Қазақстан Республикасы, Түркістан қ.,

<sup>2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.,  
15.03.24 ж. баспаға түсті.

19.03.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ТАРАТЫЛҒАН ГЕНЕРАЦИЯ ЖҮЙЕСІНІҢ БЕРІЛУ ФУНКЦИЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬ**

*Бұл жұмыста жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) негізінде жұмыс істейтін гибриді энергетикалық жүйелерді басқарудағы қиындықтарға байланысты мәселе қарастырылады. Осы*

жүйелерді пайдалану кезіндегі осал тұстары ашылады. Осы жүйелердің оң және теріс жақтарын саралай келе, гибриді энергетикалық жүйелерді құру үшін газ турбиналы қондырғылардың (ГТҚ) пайдалану тұжырымдамасы ұсынылады. Бұл ретте ГТҚ үшін отын негізінде өсімдік немесе мал шаруашылығы қалдықтарынан алынатын биогазды пайдалану ұсынылады. Мұндай дизайнның схемалық схемасы және оның жұмыс принципі келтірілген. Сондай-ақ, жұмыста газтурбиналық қозғалтқышта жұмыс істейтін, ГТҚ -ға арналған отын мал шаруашылығы және ауыл шаруашылығы қалдықтарынан алынған биогазды пайдаланатын, қолданыстағы ұқсас ҰБТ-дан ерекшеленетін таратылған генерацияның (ТГ) гибриді жүйесін құруға байланысты мәселе қаралады. Гибриді шырша биогазбен жұмыс істейтін газ турбиналы қозғалтқыш (ГТҚ) негізінде құрастырылған кезде, нәтижесінде жылу және электр энергиясын ғана емес, сонымен қатар жылыжай шаруашылықтарында өте қажет өнімді топырақты алуға болады. Ұсынылған жүйенің берілу функциясына негізделген ТГ математикалық моделі келтірілген.

*Кілтті сөздер:* жаңартылатын энергия көздері, гибриді энергия жүйесі, биогаз, газ турбиналы қозғалтқыш, аймақтық генерация, математикалық модель, басқару, жүйені пайдалану.

\*N. T. Rustamov<sup>1</sup>, A. N. Berguzinov<sup>2</sup>, O. D. Meirbekova<sup>1</sup>,  
G. A. Tulebaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University,  
Turkistan, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan  
Received 15.03.24

Received in revised form 19.03.24

Accepted for publication 02.06.24

## **A MATHEMATICAL MODEL BASED ON THE TRANSFER FUNCTION OF A DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM**

*This paper examines the issue related to the difficulties of managing hybrid energy systems operating on the basis of renewable energy sources (RES). The main vulnerable points of the use and operation of these systems are revealed. Summarizing the positive and negative aspects of these systems, the concept of using jet gas turbine engines (GTE) to create hybrid energy systems is proposed. At the same time, it is proposed to use biogas obtained from crop or animal husbandry waste as the basis for the fuel for the gas turbine engine. A schematic diagram of such a design and the principle of its operation are given. The paper also discusses the issue related to the creation of a hybrid distributed generation system (DG) powered by a gas turbine engine, which differ from existing similar RGS, where biogas obtained from livestock and agricultural waste is used as fuel for the gas turbine engine. It is noted that when a hybrid DG is constructed on the basis of a gas turbine engine (GTE) running on biogas, then as a result, not only thermal and electrical energy can be obtained at the output, but also productive soil, which is quite necessary in greenhouses. A mathematical model based on the transfer function of the proposed system is given.*

*Keywords: renewable energy sources, hybrid power system, biogas, gas turbine engine, regional generation, mathematical model, management, system operation.*

МРНТИ 73.01.77, 73.39.31; 50.05.09

<https://doi.org/10.48081/NIST1450>**\*В. В. Рындин, И. К. Омарбекова**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

\*e-mail : [rvladvit@yandex.kz](mailto:rvladvit@yandex.kz)

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ РЕЖИМА РАБОТЫ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ В ПАКЕТЕ MATHCAD**

*В статье дан расчёт режима работы компрессорной станции. Наряду с традиционным графическим методом определения расчётной точки работы центробежного нагнетателя, как точки пересечения горизонтальной линии постоянной расчётной степени сжатия с линией режимов, дан метод вычисления расчётной приведённой объёмной производительности без построения линии режимов. По найденной расчётной приведённой производительности находятся политропный КПД и приведённая относительная внутренняя мощность. Программа расчёта выполнена с использованием пакета (системы) Mathcad. Наглядность записи формул – главное преимущество Mathcad перед другими расчётными программами. Запись формул в привычном виде позволяет сразу увидеть неточности в их записи и внести соответствующие исправления. С помощью встроенной функции сплайн-аппроксимации по опытным точкам получены уравнения характеристик центробежного нагнетателя в функции от приведённой производительности нагнетателя. Развитый графический аппарат позволяет сразу строить кривые характеристик центробежного нагнетателя по этим уравнениям. Новизной работы является определение расчётной приведённой пропускной способности из уравнения расчётной степени сжатия с помощью встроенного оператора Given-Find. Разработанная программа может быть использована как в учебном процессе при*

*написании дипломов и магистерских диссертаций, так и в проектных организациях при исследовании режимов работы центробежных нагнетателей.*

*Ключевые слова: система Mathcad, центробежный нагнетатель, приведённые характеристики нагнетателя, расчётная точка нагнетателя, аналитический расчёт.*

### **Введение**

Приведена типовая методика расчёта компрессорной станции (КС) и даны рекомендации по её улучшению с целью автоматизации процесса построения графиков и определения расчётной точки работы нагнетателя. Технологическому расчёту КС предшествует технологический расчёт магистрального газопровода (МГ). Типовой расчёт МГ рассматривается во многих работах [1; 2; 3; 4; 5] и здесь не приводится. После расчёта МГ проводится расчёт режима работы компрессорной станции.

При решении многих математических задач широко используется программирование в средах Excel, Fortran, Turbo Pascal, Delphi, Matlab, Maple, Mathematica и др. В последнее время стало применяться программирование в пакете (системе) Mathcad [6]. Предложенная в статье программа Mathcad – это новое решение для ведения инженерных вычислений, которое одновременно позволяет вести сами вычисления и документировать их. Совмещение алгоритма и самой программы, позволяет сократить объём статьи в 1,5–2 раза по сравнению с программированием в других средах.

Литература по использованию Mathcad обширна, в качестве примера можно отметить [7; 8; 9]. Целью расчёта компрессорной станции является определение расчётной (рабочей) точки, обычно определяемой графически после нанесения линии режимов на опытную характеристику компрессора. В данной работе применение пакета Mathcad позволяет вычислять рабочую точку на характеристике нагнетателя без построения линии режимов.

Программа разработана в рамках выполнения магистерской диссертации по специальности 7М07203-Нефтегазовое дело.

Ниже даётся программа расчёта в пакете Mathcad. Всё ниже написанное, включая и комментарии, может составлять содержание программы расчёта – система сама определяет, где текст, а где

математические выражения (для наглядности в текстовой части символы величин будем писать курсивом, а в формулах Mathcad – прямым шрифтом).

### Материалы и методы

Задание. Выполнить технологический расчёт магистрального газопровода пропускной способностью (производительностью)  $Q_r \lll 3.7$  млрд м<sup>3</sup>/год, диаметром 720 мм и протяжённостью  $L \lll 830$  км (здесь  $Q$  и  $L$  записаны вертикальным шрифтом, так как они входят в формулы программы). Ввод символа присваивания «:=» (двоеточия с равно) осуществляется нажатием клавиши с символом двоеточия «:». В Mathcad для отделения целых от десятичных значений вместо запятой вводится точка.

В результате расчёта газопровода были получены следующие результаты (этот расчёт, как уже отмечалось, в статье не приводится).

Стандартные условия (СУ):  $p_{ст} := 101325$  Па;  $T_{ст} := 293,15$  К (20 °С).

Молярная газовая постоянная  $R_u := 8314.51$  Дж/(кмоль·К).

Удельная газовая постоянная воздуха  $R_v = 287$  Дж/(кг·К).

Расчёт физических свойств перекачиваемого газа. Состав газа [1].

Таблица 1 – Характеристика перекачиваемого газа

Компоненты	Объёмная доля	Плотность при СУ, кг/м <sup>3</sup>	Молярная масса, кг/кмоль	Газовая постоянная, Дж/(кг·К)
Метан CH <sub>4</sub>	$r_1 := 0.984$	$\rho_1 := 0.667$	$M_1 := 16.0426$	$R_1 := 518.277$
Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	$r_2 := 0.0007$	$\rho_2 := 1.250$	$M_2 := 30.0694$	$R_2 := 276.511$
Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	$r_3 := 0.0001$	$\rho_3 := 1.833$	$M_3 := 44.0962$	$R_3 := 188.554$
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	$r_4 := 0.0041$	$\rho_4 := 1.842$	$M_4 := 44.0098$	$R_4 := 188.924$
Азот N <sub>2</sub>	$r_5 := 0.0111$	$\rho_5 := 1.165$	$M_5 := 28.0134$	$R_5 := 296.805$

Здесь  $r_i$  – индексированные переменные (матричные); индекс  $i$  ставится путём нажатия клавиши с открывающейся квадратной скобкой.

Плотность газа при стандартных условиях

$$\rho_{\text{сг}} := \sum_{i=1}^5 (r_i \cdot \rho_i) = 0.677 \text{ кг/м}^3.$$

Молярная масса смеси газов

$$M := \sum_{i=1}^5 (r_i \cdot M_i) = 16.303 \text{ кг/кмоль.}$$

Удельная газовая постоянная смеси

$$R := \frac{R_{\mu}}{M} = \frac{8314.51}{16.303} = 510.01 \text{ Дж/(кг.К).}$$

Псевдокритические температура и давление

$$T_{\text{пк}} := 155.24 \cdot (0.564 + \rho_{\text{сг}}) = 155.24 \cdot (0.564 + 0.677) = 192.707 \text{ К,}$$

$$p_{\text{пк}} := 0.1773 \cdot (26.831 - \rho_{\text{сг}}) = 0.1773 \cdot (26.831 - 0.677) = 4.637 \text{ МПа.}$$

В результате теплового и гидравлического расчёта линейного участка определены давление и температура газа в конце участка трубопровода:  $p_{\text{к}} = 5.783$  МПа и  $T_{\text{к}} = 282.42$  К. С учётом потерь давления при всасывании определяем давление

$$p_{\text{вс}} := p_{\text{к}} - \Delta p_{\text{вс}} = 5.783 - 0.120 = 5.663 \text{ МПа}$$

и температура газа на входе в центробежный нагнетатель

$$T_{\text{вс}} := T_{\text{к}} = 282.42 \text{ К.}$$

Значения давления и температуры, приведённые к условиям всасывания,

$$p_{\text{пр}} := \frac{p_{\text{вс}}}{p_{\text{пк}}} = \frac{5.43663}{4.637} = 1.221,$$

$$T_{\text{пр}} := \frac{T_{\text{вс}}}{T_{\text{пк}}} = \frac{282.424}{192.774} = 1.465$$

Коэффициент сжимаемости газа при условиях всасывания ( $Z_{\text{сг}} := 1$ )

$$Z_{\text{вс}} := 1 - \frac{0.0241 \cdot p_{\text{пр}}}{1 - 1.68 \cdot T_{\text{пр}} + 0.78 \cdot T_{\text{пр}}^2 + 0.0107 \cdot T_{\text{пр}}^3} = 0.881.$$

Плотность газа при условиях всасывания

$$\rho_{\text{вс}} := \rho_{\text{сг}} \cdot \frac{p_{\text{вс}} \cdot T_{\text{сг}} \cdot Z_{\text{сг}}}{p_{\text{сг}} \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{вс}} \cdot Z_{\text{вс}}} = 0.678 \cdot \frac{5.663 \cdot 293.15 \cdot 1}{101325 \cdot 10^{-6} \cdot 282.424 \cdot 0.881} = 44.646 \text{ кг/м}^3$$

Принимаем оценочный коэффициент использования пропускной способности газопровода в интервале 0,85–0,9  $K_{\text{и}} := 0.9$  [1].



Суточная пропускная способность газопровода при стандартных условиях (коммерческий расход) рассчитывается так

$$Q := \frac{Q_{\Gamma} \cdot 10^3}{365 \cdot K_{\Pi}} = \frac{3.7 \cdot 10^3}{365 \cdot 0.9} = 11.263 \text{ млн м}^3/\text{сут.}$$

На компрессорных станциях установлены газотурбинные агрегаты ГПА-Ц-6,3 оборудованные центробежными нагнетателями НЦВ-6,3/76-1,45. Номинальная подача нагнетателя  $Q_{\text{н}} := 11.4$  млн  $\text{м}^3/\text{сут}$  при стандартных условиях, частота вращения ротора  $n_{\text{н}} := 8200 \text{ мин}^{-1}$  и давление нагнетания  $p_{\text{наг}} := 7.45 \text{ МПа}$  берутся из таблицы 1.10 [1].

Введём обозначение  $Q_{\text{КС}} := Q = 11.263 \text{ МЛН М}^3/\text{СУТ}$ . Требуемое число параллельно работающих нагнетателей

$$m_{\text{н}} := \frac{Q_{\text{КС}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{11.263}{11.4} = 0.988, \text{ принимаем } m_{\text{н}} := 1.$$

Объёмная подача компрессора при условиях всасывания (на входе)

$$Q_{\text{вс}} := \frac{Q_{\text{КС}} \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot m_{\text{н}}} \cdot \frac{\rho_{\text{ст}}}{\rho_{\text{вс}}} = \frac{11.263 \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot 1} \cdot \frac{0.678}{44.646} = 118.743 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

В связи со сложностью процессов, происходящих при сжатии газа, их аналитическое описание является достаточно громоздким. Практика показала, что гораздо проще можно получить графические характеристики по результатам стендовых испытаний и представить их в приведённых координатах, используя при этом аппарат теории подобия и размерностей [10]. При этом в статье вводятся следующие соотношения:

$$Q_{\text{н}} = Q \cdot \frac{n_{\text{н}}}{n}; \quad (1)$$

$$H_{\text{пол.н}} = H_{\text{пол}} \cdot \left(\frac{n_{\text{н}}}{n}\right)^2; \quad (2)$$

$$\frac{N_{\text{н}}}{\rho_{\text{вс.н}}} = \frac{N_{\text{i}}}{\rho_{\text{вс}}} \left(\frac{n_{\text{н}}}{n}\right)^3; \quad (3)$$

$$H_{\text{пол}} = \frac{m}{m-1} (ZRT)_{\text{вс}} \cdot (\varepsilon^{(m-1)/m} - 1), \quad (4)$$

где 
$$\frac{m}{m-1} = \frac{k}{k-1} \cdot \eta_{\text{пол}}, \quad (5)$$

$H_{\text{пол}}$  – политропный напор (удельная работа сжатия), Дж/кг;

$\eta_{\text{пол}}$  – политропный КПД нагнетателя,  $k$  – показатель адиабаты, который принят для природного газа  $k := 1.31$ .

Степень сжатия для условий, отличных от номинальных будет определяться из соотношения, полученного с учётом уравнений (1)–(5),

$$\varepsilon = \left[ 1 + \left( \frac{n}{n_H} \right)^2 \cdot \frac{(ZRT)_H}{(ZRT)_{BC}} \left( \varepsilon^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right) \right]^{\frac{m-1}{m}}. \quad (6)$$

Из этих соотношений трудно определить от каких аргументов зависят отдельные величины. Применение пакета Mathcad позволяет сделать эти уравнения наглядными и проводить по ним расчёты.

Задаём интервал чисел частоты вращения ротора  $n := 3500..8500$  (символ множества «..» вводится нажатием клавиши «;» точка с запятой). Задаём приведённый расход  $Q_{\text{пр}}$  и приведённую относительную частоту  $n_{\text{пр}}$  в функции от частоты вращения ротора  $n$

$$n_{\text{пр}}(n) := \frac{n}{n_H} \cdot \sqrt{\frac{Z_{\text{ГПР}} \cdot R_{\text{ГПР}} \cdot T_{\text{ГПР}}}{Z_{\text{BC}} \cdot R \cdot T_{\text{BC}}}}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{пр}}(n) := \frac{n_H}{n} \cdot Q_{\text{BC}} \quad C = \frac{Z_{\text{ГПР}} \cdot R_{\text{ГПР}} \cdot T_{\text{ГПР}}}{Z_{\text{BC}} \cdot R \cdot T_{\text{BC}}} \quad C_1 = \sqrt{\frac{Z_{\text{ГПР}} \cdot R_{\text{ГПР}} \cdot T_{\text{ГПР}}}{Z_{\text{BC}} \cdot R \cdot T_{\text{BC}}}}.$$

где  $Z_{\text{пр}}$ ,  $R_{\text{пр}}$ ,  $T_{\text{пр}}$  – условия приведения, для которых построены характеристики.

Для вывода результатов расчёта задаём интервал чисел частоты вращения ротора с шагом  $500 \text{ мин}^{-1}$   $n \square\square 3800, 4300..7800$  (диапазон чисел выбирается так, чтобы в соответствии с диаграммой характеристик ГПА-Ц-6,3 приведённые объёмные расходы лежали в диапазоне 125–250 и выводим их значения в виде матриц:

Кривая в координатах  $Q_{\text{пр}}(n)$  и  $n_{\text{пр}}(n)$  называется линией режимов (рис. 1).

В реальных условиях нагнетатель, приводимый от ГТУ, работает в определённом диапазоне частоты вращения. Поэтому характеристики нагнетателя строят при различной приведённой частоте вращения (на рисунке 2  $n_{\text{пр}} = 0,7-1,1$ ), постоянной для каждой кривой. Наибольшее

распространение в практике расчётов режимов работы ГПА получили характеристики ЦН, выпускаемые ВНИИГАЗом [11].

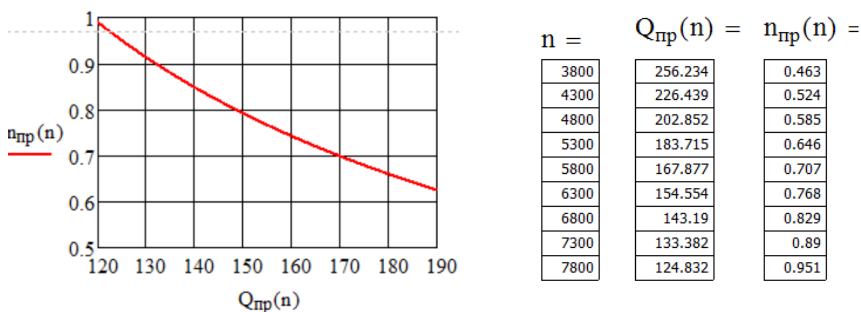


Рисунок 1 – Линия режимов

На рисунке 2 представлены зависимости степени повышения давления  $\epsilon$ , политропного КПД ЦН  $\eta_{пол}$  и приведённой относительной внутренней мощности от приведённой объёмной подачи для ГПА-Ц-6,3 [12]. На практике полученные точки  $Q_{пр}(n)$  и  $n_{пр}(n)$  ( $Q_{пр} - [n/n_n]_{пр}$ ) наносятся ручным способом на характеристику нагнетателя и соединяются линией режимов АВС (см. рис. 2).

Требуемая (расчётная) степень повышения давления в компрессоре (номинальная степень повышения давления  $\epsilon = 1,45$  определяется по таблице 1.10 [1])

$$\epsilon_p := \frac{p_{наг}}{p_{вс}} = \frac{7.45}{5.66} = 1.316.$$

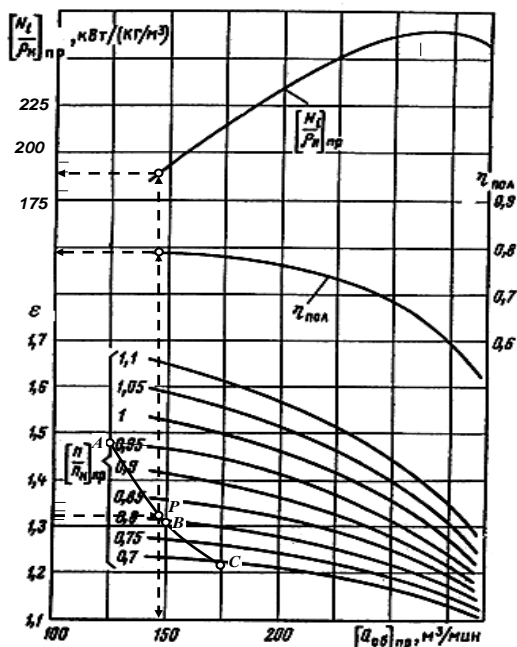


Рисунок 2 – Приведённые характеристики ГПА-Ц-6,3  $Z_{пр} = 0,9$ ;

$$R_{пр} = 491 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); T_{пр} = 288 \text{ К} [12]$$

По характеристике нагнетателя определяются расчётные значения приведённых параметров. Для этого проводим горизонтальную линию из  $\varepsilon = 1,316$  до линии режимов и находим точку пересечения (P). Восстанавливая перпендикуляр из этой точки до пересечения с горизонтальной осью, находим  $Q_{пр} = 147,5 \text{ м}^3/\text{мин}$  (см. рис. 2). Аналогично определяем  $\eta_{пол} = 0,79$  и  $[N_i / \rho_{вс}]_{пр} = 189 \text{ кВт}/(\text{кг}/\text{м}^3)$ .

Недостатком изложенного метода является трудность интерполяции (нахождение неизвестных промежуточных значений функции, по дискретному набору её известных значений) точек линии режимов по дискретным значениям  $[n/n_{пр}]_{пр} = 0,7-1,1$ .

### Результаты и обсуждение

Разработана программа расчёта режима работы компрессорной станции в пакете Mathcad. В основу расчёта положены опытные характеристики ЦБ нагнетателя [12]. В качестве основной берётся кривая степени сжатия  $\varepsilon_1$  при приведённой частоте вращения ротора равной единице ( $n/n_{нпр} = 1$ ). Координаты опытных точек вносятся в таблицу (матрицу) и с помощью встроенной функции сплайн-аппроксимации получаем уравнение кривой политропного кпд  $\eta(Q_{пр})$  и степени повышения давления  $\varepsilon_1(Q_{пр})$ .

Аналитическое задание кривой политропного кпд  $\eta(Q_{пр})$  по опытным данным:

$$M := \begin{pmatrix} Q_{пр} & \eta \\ 140 & 0.788 \\ 150 & 0.787 \\ 175 & 0.780 \\ 200 & 0.762 \\ 225 & 0.734 \\ 250 & 0.681 \\ 275 & 0.593 \end{pmatrix} \quad X := M^{(1)} \quad X = \begin{pmatrix} 140 \\ 150 \\ 175 \\ 200 \\ 225 \\ 250 \\ 275 \end{pmatrix} \quad Y := M^{(2)} \quad Y = \begin{pmatrix} 0.788 \\ 0.787 \\ 0.78 \\ 0.762 \\ 0.734 \\ 0.681 \\ 0.593 \end{pmatrix}$$

$$S := \text{lspline}(X, Y) \quad \eta(Q_{пр}) := \text{interp}(S, X, Y, Q_{пр}).$$

Аналитическое задание степени повышения давления  $\varepsilon_1(Q_{пр})$  в компрессоре при  $[n/n_{нпр}] = 1$ :

$$M := \begin{pmatrix} Q_{пр} & \varepsilon_1 \\ 140 & 1.535 \\ 150 & 1.529 \\ 175 & 1.496 \\ 200 & 1.46 \\ 225 & 1.41 \\ 250 & 1.352 \\ 275 & 1.276 \end{pmatrix} \quad X := M^{(1)} \quad X = \begin{pmatrix} 140 \\ 150 \\ 175 \\ 200 \\ 225 \\ 250 \\ 275 \end{pmatrix} \quad Y := M^{(2)} \quad Y = \begin{pmatrix} 1.535 \\ 1.529 \\ 1.496 \\ 1.46 \\ 1.41 \\ 1.352 \\ 1.276 \end{pmatrix}$$

$$S := \text{lspline}(X, Y) \quad \varepsilon_1(Q_{пр}) := \text{interp}(S, X, Y, Q_{пр}).$$

На рисунках 3 и 4 приведены аналитические кривые кпд и степени повышения давления.

$$Q_{пр} := 140..275$$

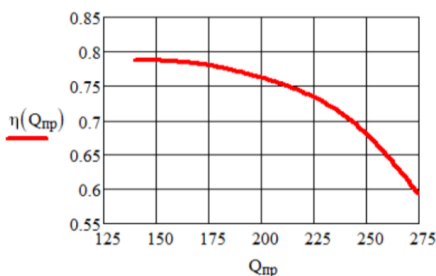


Рисунок 3 – Расчётный  
политропный КПД

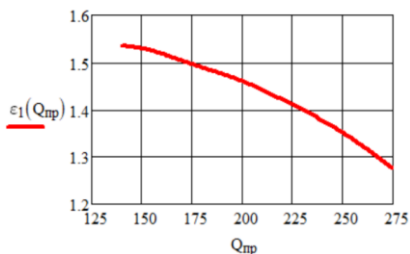


Рисунок 4 – Расчётная степень  
повышения давления

Методика получения таких функций для записи криволинейных линий проста и занимает мало места в программе. В работах ряда авторов для создания математических моделей используют полиномиальную аппроксимацию, например, для квадрата степени сжатия от приведённой объёмной пропускной способности апробация выполняется в виде полинома третьей степени

$$\varepsilon^2 = a_0 + a_1 Q_{пр} + a_2 Q_{пр}^2 + a_3 Q_{пр}^3.$$

Значения коэффициентов аппроксимации определяются методом наименьших квадратов по точкам графических характеристик. При этом расчёты выполняются на ЭВМ с применением сложных алгоритмов.

Применение пакета Mathcad позволяет довольно просто решить уравнение (6) для определения приведённой объёмной подачи  $Q_{пр,p}$  по известной степени сжатия  $\varepsilon_r$ . Для этого оно записывается в таком виде:

$$\varepsilon(Q_{пр}) := \left[ n_{пр}(Q_{пр})^2 \cdot C \cdot \left( \varepsilon_1(Q_{пр})^{\frac{k-1}{k \cdot \eta(Q_{пр})}} - 1 \right) + 1 \right]^{\frac{k \cdot \eta(Q_{пр})}{k-1}}, \quad (8)$$

Для его решения необходимо знать зависимости кпд  $\eta$  и степени сжатия  $\varepsilon$  от приведённой объёмной подачи  $Q_{пр}$ . Как уже было отмечено выше, эта задача довольно просто решается в Mathcad с помощью встроенной функции сплайн-аппроксимации.

Приведённая частота  $n_{пр}$  в функции от  $Q_{пр}$  определяется по формуле (7) путём замены аргумента  $n$  на  $Q_{пр}$

$$n_{\text{пр}}(Q_{\text{пр}}) := \left( \frac{n}{n_{\text{н}}} \right) \cdot C_1. \quad (9)$$

Кривая  $n_{\text{пр}}(Q_{\text{пр}})$  идентична кривой  $n_{\text{пр}}(n)$ , изображённой на рисунке (1).

Определение расчётной приведённой пропускной способности газопровода (объёмной подачи компрессорной станции) проводится по формуле (8). Для этого используем встроенный оператор Given–Find, записывая его в таком виде (знак логического равенства = вводится одновременным нажатием клавиш Ctrl+=):

Given  $Q_{\text{пр}} := 200$  (начальное приближение)

$$\varepsilon_p = \left[ n_{\text{пр}}(Q_{\text{пр}})^2 \cdot C \cdot \left( \varepsilon_1(Q_{\text{пр}})^{\frac{k-1}{k \cdot \eta(Q_{\text{пр}})}} - 1 \right) + 1 \right]^{\frac{k \cdot \eta(Q_{\text{пр}})}{k-1}}.$$

$Q_{\text{пр.р}} := \text{Find}(Q_{\text{пр}}) = 149.498 \text{ м}^3/\text{мин}$ .  $Q_{\text{пр}} := Q_{\text{пр.р}} = 149.498 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Графическим методом было найдено значение 147,5 м<sup>3</sup>/мин (относительная погрешность 1,3 %). Учитывая, что и аналитический метод содержит значения, получаемые графически, то данная точность расчёта подтверждает правильность математической модели. Данная математическая модель позволяет исследовать различные режимы работы газопровода с данным компрессором.

Расчётная и приведённая частота вращения ротора находится из (9)

$$n_p := n_{\text{пр.р}} \cdot \frac{n_{\text{н}}}{C_1} = 6513.06 \text{ мин}^{-1} \text{ или } n_p := Q_{\text{вс}} \cdot \frac{n_{\text{н}}}{Q_{\text{пр.р}}} = 6513.06 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{\text{пр.р}}(Q_{\text{пр.р}}) := \left( \frac{n_{\text{пр.р}}}{n_{\text{н}}} \right) \cdot C_1 = 0.794.$$

Внутренняя мощность, потребляемая ЦН,

$$N_i := \rho_{\text{вс}} \cdot N_{\text{ипр.р}} \cdot \left( \frac{n}{n_{\text{н}}} \right)^3 = 4233.2 \text{ кВт},$$

где  $N_{\text{ипр.р}} = [N_i / \rho_{\text{вс}}]_{\text{пр}} = 189 \text{ кВт}/(\text{кг}/\text{м}^3)$  – приведённая мощность.

## Выводы

Разработана программа расчёта режима работы компрессорной станции в пакете Mathcad.

Научная новизна работы заключается в разработке автоматизированного (без геометрического построения линии режимов) расчёта приведённой объёмной производительности для требуемой степени сжатия.

Разработанная программа может быть использована как в учебном процессе при написании дипломов и магистерских диссертаций, так и в проектных организациях при исследовании режимов работы центробежных нагнетателей, а также при отладке сложных программ, использующих менее наглядные языки программирования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Типовые расчёты при сооружении и ремонте газонефтепроводов: учеб. пособие [Текст] / Быков, Л. И. и др. – Санкт-Петербург : Недра, 2006. – 824 с. : ил.

2 **Белицкий, В. Д.** Проектирование и эксплуатация магистральных газопроводов : методическое пособие / В. Д. Белицкий, Ломов С. М. [Текст]. – Омск : ОмГТУ, 2011. – 65 с. : ил.

3 **Щуровский В. А.** и др. Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических, расчётов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. ПР51-31323949. [Текст]. – ВНИИГАЗ, 1999. – 26 с.

4 **Коршак А. А.** Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа / А. А. Коршак, А. М. Нечваль. [Текст]. – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2005. – 515 с.

5 **Новоселов В. Ф.** Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации газопроводов / В. Ф. Новоселов, А. И. Гольянов, Е. М. Муфтахов. [Текст]. – 534 с.

6 **Рындин В. В.** Технологический расчёт магистрального газопровода в системе Mathcad // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 1. – С. 83–95.

7 **Половко, А. М.** Mathcad для студентов [Текст] / А. М. Половко, Н. В. Ганичев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 336 с. : ил.

8 **Кирьянов, Д. В.** Mathcad 13 [Текст]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с. :



**9 Макаров, Е. Г.** Инженерные расчёты в Mathcad 15 [Текст]. – СПб. : Питер, 2011. – 400 с. :

**10 Синицын С. Н., Барцев И. В., Леонтьев Е. В.** Влияние параметров природного газа на характеристики центробежных нагнетателей. [Текст]. – М. : Недра, 1967, – В кн. : Транспорт и хранение газа (Труды ВНИИГАЗа, вып. 29/37).

**11 Альбом** приведённых газодинамических характеристик центробежных нагнетателей. [Текст]. – Союзоргэнергогаз. ВНИИГАЗ, – М. : 1985.– 87 с.

**12 Перевощиков С. И.** Проектирование и эксплуатация компрессорных станций : Приложения. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2004. – 58 с.

## REFERENCES

1 Tipovyye raschoty pri sooruzhenii i remonte gazonefteprovodov: ucheb. posobiye [Typical calculations for the construction and repair of gas and oil pipelines: textbook. manual] [Text]. Bykov, L. I. et.al – St. Petersburg: Nedra, 2006. – 824 p.

2 **Belitskiy, V. D.** Proyektirovaniye i ekspluatatsiya magistral'nykh gazoprovodov : metodicheskoye posobiye [Design and operation of main gas pipelines: methodological manual] [Text]. – Omsk : OmGTU, 2011. – 65 p.

3 **Shchurovskiy, V. A. i dr.** Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu teplotekhnicheskikh i gazodinamicheskikh, raschotov pri ispytaniyakh gazoturbinykh gazoperekachivayushchikh agregatov. [Guidelines for carrying out thermotechnical and gas-dynamic calculations when testing gas turbine gas pumping units]. [Text]. –VNIIGAZ, 1999. – 26 p.

4 **Korshak, A. A. i dr.** Truboprovodnyy transport nefti, nefteproduktov i gaza [Pipeline transport of oil, oil products and gas] [Text] – Ufa : Design Polygraph Service, 2005. – 515 p.

5 **Novoselov, V. F. i dr.** Tipovyye raschoty pri proyektirovanii i ekspluatatsii gazoprovodov [Typical calculations for the design and operation of gas pipelines] [Text] – Moscow : Nedra, 1982 – 534 p.

6 **Ryndin, V. V.** Tekhnologicheskyy raschot magistral'nogo gazoprovoda v sisteme Mathcad [Technological calculation of the main gas pipeline in the

Mathcad system] [Text] // Science and technology of Kazakhstan. – 2018. – No. 1. – P. 83–95.

7 **Polovko, A. M.** et al. Mathcad dlya studentov [Mathcad for students] – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2006. – 336 p.

8 **Kir'yanov, D. V.** Matkad 13 [Mathcad 13] [Text]. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2006. – 608 p.

9 **Makarov, Ye. G.** Inzhenernyye raschoty v Mathcad 15 [Engineering calculations in Mathcad 15]. – St. Petersburg : Peter, 2011. – 400 p.

10 **Sinityn, S. N., i dr. V.** Vliyaniye parametrov prirodnogo gaza na kharakteristiki tsentrobezhnykh nagnetateley [Influence of natural gas parameters on the characteristics of centrifugal blowers. [Text]. – Moscow : Nedra, 1967, – In the book : Transport and storage of gas (Proceedings of VNIIGAZ, issue 29/37).

11 Al'bom privedonnykh gazodinamicheskikh kharakteristik tsentrobezhnykh nagnetateley [Album of the given gas-dynamic characteristics of centrifugal superchargers.] – Moscow : Soyuzorgenergogaz. VNIIGaz, 1985. – 87 p.

12 **Perevoshchikov, S. I.** Proyektirovaniye i ekspluatatsiya kompressornykh stantsiy : Prilozheniya [Design and operation of compressor stations: Applications] – Tyumen : TyumGNGU, 2004. – 58 p.

Поступило в редакцию 08.12.24.

Поступило с исправлениями 09.04.24.

Принято в печать 03.06.24.

\*В. В. Рындин, И. К. Омарбекова

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

08.12.24 ж. баспаға түсті.

09.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды

## **МАТНСАД ПАКЕТІНДЕГІ КОМПРЕССОР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМІН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЕСЕПТІК**

*Мақалада компрессорлық станцияның жұмыс режимінің есебі берілген. Ортадан тепкіш супер зарядтағыштың жұмысының жобалық нүктесін анықтаудың дәстүрлі графикалық әдісімен қатар тұрақты конструктивті қысу коэффициентінің көлденең сызығының режим сызығымен қиылысу нүктесі ретінде есептелетін төмендетілген көлемдік өнімділікті есептеу әдістемесі келтірілген. режим сызығын құру. Табылған есептелген төмендетілген өнімділікке сүйене отырып, политроптық тиімділік және төмендетілген салыстырмалы ішкі қуат табылады. Есептеу бағдарламасы Mathcad пакеті (жүйесі) арқылы орындалды. Формулаларды жазудың анықтығы Mathcad-тың басқа есептеу бағдарламаларынан басты артықшылығы болып табылады. Формулаларды таныс формада жазу оларды жазудағы дәлсіздіктерді бірден көруге және тиісті түзетулер енгізуге мүмкіндік береді. Тәжірибе нүктелеріне негізделген кіріктірілген сплайнды жуықтау функциясын пайдалана отырып, жоғары зарядтағыштың төмендетілген өнімділігінің функциясы ретінде центрифугалық супер зарядтағыштың сипаттамаларына арналған теңдеулер алынды. Жетілдірілген графикалық аппарат осы теңдеулерді пайдалана отырып, орталықтан тепкіш супер зарядтағыштың өнімділік қисықтарын дереу құруға мүмкіндік береді. Жұмыстың жаңалығы кіріктірілген Given-Find операторының көмегімен есептелген қысу коэффициентінің теңдеуінен есептелген азайтылған өткізу қабілеттілігін анықтау болып табылады. Жасалған бағдарламаны оқу процесінде дипломдық және магистрлік диссертацияларды жазу кезінде де,*

конструкторлық ұйымдарда орталықтан тепкіш суперзарядтардың жұмыс режимдерін зерттеу кезінде де пайдалануға болады.

*Кілтті сөздер:* Mathcad жүйесі, орталықтан тепкіш суперзарядтауыш, жоғары зарядтағыштың берілген сипаттамалары, суперзарядтағыштың жобалық нүктесі, аналитикалық есептеу.

\*V. V. Ryndin, I. K. Omarbekova

Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 08.12.24

Received in revised form 09.04.24

Accepted for publication 03.06.24

## **AUTOMATED CALCULATION OF THE OPERATING MODE A COMPRESSOR STATION IN THE MATHCAD PACKAGE**

*The article provides a calculation of the operating mode of the compressor station. Along with the traditional graphical method for determining the design point of operation of a centrifugal supercharger, as the point of intersection of the horizontal line of the constant design compression ratio with the mode line, a method is given for calculating the calculated reduced volumetric productivity without constructing a mode line. Based on the found calculated reduced productivity, the polytropic efficiency and the reduced relative internal power are found. The calculation program was performed using the Mathcad package (system). The clarity of writing formulas is the main advantage of Mathcad over other calculation programs. Writing formulas in a familiar form allows you to immediately see inaccuracies in their recording and make appropriate corrections. Using the built-in spline approximation function based on experimental points, equations for the characteristics of a centrifugal supercharger were obtained as a function of the reduced performance of the supercharger. An advanced graphical apparatus allows one to immediately construct performance curves of a centrifugal supercharger using these equations. The novelty of the work is the*

*determination of the calculated reduced throughput from the equation of the calculated compression ratio using the built-in Given-Find operator. The developed program can be used both in the educational process when writing diplomas and master's theses, and in design organizations when studying the operating modes of centrifugal superchargers.*

*Keywords: Mathcad system, centrifugal supercharger, given characteristics of the supercharger, design point of the supercharger, analytical calculation.*

FTAMP 44.37.29.

<https://doi.org/10.48081/JRCE4152>**\*Г. К. Сыдыкова, Ж. Т. Жүнісов, И. Б. Құлтан***Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,**Қазақстан Республикасы, Қызылорда қаласы**\*e-mail: [sydykova77@mail.ru](mailto:sydykova77@mail.ru)*

## **СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖҮЙЕСІНДЕ КҮН ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІН ҚОЛДАНУ**

*Күн электр станцияларын пайдалану Қазақстан үшін дәстүрлі емес энергияның ең маңызды саласы болып табылады, мұнда сумен жабдықтау мақсатында күн радиациясын электр энергиясына түрлендірудің фотоэлектрлік әдісін пайдалану тиімді екендігі көрсетілді. Бұл мақалада күн электр станциясына негізделген суару үшін арналған сумен жабдықтау жүйесі әзірленді. Қызылорда облысының географиялық орналасуын ескере отырып, суару жүйесін жабдықтау мақсатында электр энергиясын өндіруде фотоэлектрлік элементтерді пайдалану мәселесі көтерілді. Қызылорда өңірі үшін көлденең бетке түсетін тәуліктік күн радиациясының көлеміне талдау жасалып, күн электр станциясынан қоректенетін сорғы жүйесіне есептеу және таңдау әдістемесі әзірленіп, тұтынуға арналған судың мөлшері анықталды. Күн фототүрлендіргіші - сумен жабдықтау сорғы жүйесін жасау барысында алдымен судың күнделікті қажеттілігі анықталды, сондай-ақ жүйені пайдалану туралы деректер қолданылды. Таңдалатын сорғы түрі, сорғының сипаттамаларына сәйкес айналу моменті, жүйенің мүмкіндігіне тиімді жұмыс жасау қажеттілігі көрсетілді. Қызылорда облысының климаттық жағдайында жыл бойына ең тиімді энергияны алуға мүмкіндік беретін күн панельдерінің қолбеу бұрыштарының оңтайлы бұрыштары есептелді. Жұмыс барысында күн радиациясының қысқы және жазғы айлардағы айырмашылығы энергетикалық*

*кешен орнатудың географиялық ендігіне байланыстылығы анықталды.*

*Кілтті сөздер: энергетикалық кешен, күн радиациясы, сорғы, фототүрлендіргіш, фотоэлектрлік сорғы, күн инсоляциясы.*

### **Кіріспе**

Күн энергиясы егін суару үшін тартымды құрал ұсына отырып, ауыл шаруашылығында суды пайдалануда төңкеріс жасауға дайын. Күннен қуат алатын су сорғылары электр энергиясын пайдалана отырып суды соруға арналған құрылғылар болып есептеледі, сондай-ақ олар өздерінің тиімділігі мен экологиялық тазалығының арқасында тұтынушылар арасында жыл сайын сұранысқа ие. Күн жеткілікті болған кезде дақылдар көбірек суды қажет ететінін білеміз, яғни күн энергиясы суару жұмыстарына қажетті энергиямен қамтамасыз ете алады.

### **Материалдар мен әдістер**

Күн радиациясы – экологиялық таза энергияның сарқылмайтын жаңартылатын көзі. Күн радиациясының жалпы ағыны географиялық және климатологиялық факторларға байланысты және жыл бойы өзгеріп отырады. I және 2-кестелерде барлық ендіктерде – экватордан солтүстік полюске дейінгі аралықта  $1\text{м}^2$  көлденең бетке орташа айлық күн энергиясын тұтынудың таралуы көрсетілген [1; 2].

Кесте – 1 Жер бетіне жалпы күн энергиясының орташа айлық тәуліктік жеткізілімі (тәулігіне  $\text{МДж}/\text{м}^2$ ).

Ай	Ендік, градус									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I	20,9	17,3	13,3	9	4,7	1,8				
II	22	19,1	15,5	11,5	7,2	3,6	0,7			
III	23	21,6	19,1	15,8	12,2	7,9	4	1,1		
IV	22,7	22,7	22	20,2	17,6	14	10,1	6,1	2,1	0,4
V	21,2	22,7	23,4	23	22	19,8	16,6	13	10,4	8,3

VI	19,8	22,3	23,8	24,5	24,1	21,2	18,7	16,9	16,9	
VII	19,4	22	23,8	24,5	24,5	22,7	21,6	19,1	18	17,6
VIII	20,5	22,3	22,7	23,4	22,3	20,5	18	14,4	11,5	10,8
IX	22	22,7	22,3	20,9	18,4	15,5	11,5	7,6	3,6	1,4
X	22,7	21,6	19,8	16,9	13,3	9,4	5,4	1,8		
XI	22	19,4	16,2	12,6	8,3	4,3	1,4			
XII	20,9	17,6	13,7	9,4	5,4	1,8	1,4			
Орташа жылдық ағын	21,4	20,9	19,6	17,6	14	11,9	9,2	6,8	5,2	4,6

Жердің ендігін біле отырып, жалпы күн радиациясының орташа айлық және тәуліктік мәнін көруге болады. Іс жүзінде күн қондырғылары жүйелерін есептеудің және оларды пайдалану тиімділігін жеңілдету үшін көлденең бетке түсетін  $m^2$  ( $kBt/m^2$ ) күн радиациясының орташа жылдық (жалпыланған) мәні қолданылады. Бұл көрсеткіш, әдетте, аймақтың белгілі бір ендігі болып табылады. Қызылорда үшін  $45^0$  ендікті ескере отырып, біз мынаған тең мән аламыз:

$$3,9 - (45 - 40) \cdot (3,9 - 3,3) / 10 = 3,6 \text{ kBt}/m^2 \text{ немесе тәулігіне } 12,95 \text{ MДж}/m^2.$$

Кесте – 2 Жер бетіне жалпы күн энергиясының орташа айлық тәуліктік жеткізілімі (тәулігіне  $kBt/m^2$ ) [3; 4].

Ай	Ендік, градус									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I	5,8	4,8	3,7	2,5	1,3	0,5				
II	6,1	5,3	4,3	3,2	2,0	1,0	0,2			
III	6,4	6,0	5,3	4,4	3,4	2,2	1,1	0,3		
IV	6,2	6,2	6,1	5,6	4,9	3,9	2,8	1,7	0,6	0,1



V	5,9	6,2	6,5	6,4	6,1	5,5	4,6	3,6	2,9	2,3
VI	5,5	6,2	6,6	6,7	6,7	6,4	5,9	5,2	4,7	4,7
VII	5,4	6,1	6,6	6,7	6,7	6,2	6,0	5,3	5,0	4,9
VIII	5,7	6,2	6,2	6,5	6,2	5,7	5,0	5,0	3,2	3,0
IX	6,1	6,2	6,1	5,8	5,8	4,3	3,2	2,1	1,0	0,4
X	6,2	6,0	5,5	4,7	3,7	2,6	1,5	0,5		
XI	6,1	5,4	4,5	3,5	2,3	1,2	0,3			
XII	5,8	4,9	3,8	2,6	1,5	0,5				
Орташа жылдық ағын	5,9	5,8	5,5	4,9	3,9	3,3	2,6	1,9	1,4	1,3

Күн радиациясының орташа жылдық, айлық және тәуліктік мәндерін белгілі бір ықтималдық дәрежесімен есептеуге болады. Бұл мәндерді дәл анықтау үшін күн панельдерін орнататын жерге эксперименттер жүргізу қажет. Біріншіден, жыл бойы ашық күндер саны есептеледі. Орналасқан жердің ендігін біле отырып, күн сәулесінің ұзақтығының мәні және күннің еңісін анықтау үшін астрономиялық күнтізбелердің көмегімен есептеледі. Содан кейін белгілі бір тәулік үшін күн радиациясының ағынының мәні анықталады. Нәтижесінде, осы мәндердің барлығын қорытындылай келе, белгілі бір орын үшін алынған жалпы күн энергиясының айлық немесе жылдық мәні алынады.

Қорқыт ата атындағы Қызылорда университетінің жанындағы күн-жел электр станциясында бірнеше жылдар бойы жүргізілген зерттеулер негізінде арнайы таңдалған аумақ үшін күн радиациясының орташа жылдық мәні алынды. Қызылорда облысы ендігінде күн радиациясының орташа жылдық ағынының тығыздығы - 350 – 370 Вт/м<sup>2</sup> құрайды (метеостанциядан алынған күн инсоляциясы бойынша берілгендер, 2023 жыл).



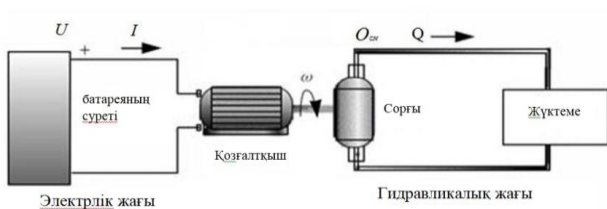
Сурет –1 Метеостанциядан алынған күн инсоляциясы бойынша берілгендер, 2023 жыл

Дәстүрлі емес энергия көздеріне негізделген энергетикалық құрылғыларды пайдаланатын сумен жабдықтау жүйелерін пайдалану бойынша әдебиет көздерін талдау арқылы біз автономды орталықтандырылмаған энергиямен жабдықтау мәселелеріне тоқталамыз.

Шалғай аудандарда пайдалануға болатын «күн фототүрлендіргіштері - сумен жабдықтау жүйесінің сорғысы» сұлбасына сәйкес жұмыс істейтін және сумен жабдықтау жүйесіне арналған жабдықтар кешенін құру мысалын қарастырамыз.

Шалғай аудандардағы орталықтандырылмаған тұтынушыны сумен қамтамасыз ету үшін фотоэлектрлік элементтерді пайдалану экономикалық тұрғыдан ең маңызды шешімдердің бірі болып табылады.

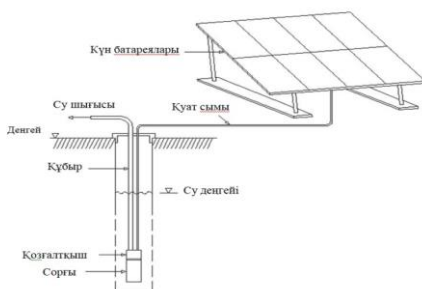
Фотоэлектрлік жүйелерді күн энергиясын жылыту қондырғыларында суды жылытуға немесе жерді суару және басқа да мақсаттарда пайдалануға болады. Фотоэлектрлік сумен жабдықтау жүйесі фотоэлектрлік элементтердің жеңіл массивтерінен және тұрақты токпен жұмыс істейтін сорғылардан тұрады [5]. 2-суретте көрсетілген фотоэлектрлік сорғы жүйесіндегі қозғалтқышты іске қосуға арналған электр тогы фотоэлектрлік жүйеден өндіріледі.



Сурет – 2 Фотоэлектрлік элементтерге негізделген сорғы жүйесінің принциптік сұлбасы

Фотоэлектрлік сорғы жүйелерінде су асты және су үсті сорғылары жиі кездеседі:

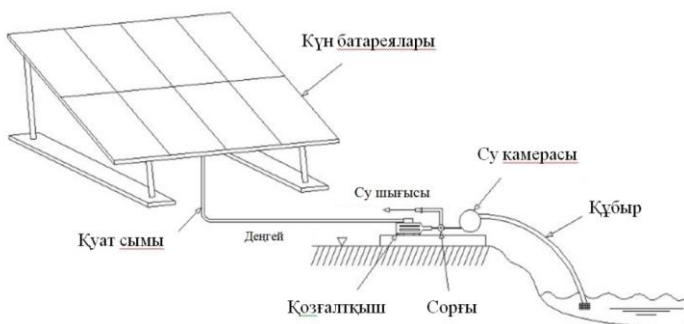
1) Су асты сорғысы тұтынушыны суарумен қамтамасыз ету үшін пайдаланылатын фотоэлектрлік сорғы жүйелерінде ең кең таралған түрі болып есептеледі. Бұл сорғылар 3-суретте көрсетілген сұлбаға сәйкес орнатылады. Егер тұрақты және айнымалы токпен жұмыс істейтін қозғалтқыш айнымалы токпен жұмыс жасайтын болса инверторы бар «корпусқа» салынған сорғыны пайдалануға болады.



Сурет –3 Суасты сорғысы

2) Су үсті сорғы жүйесінде тұрақты техникалық қадағалауды қамтамасыз етуге баса назар аударылады. Сорғы камерасы сумен толтырылғанына және клапандар судың тоқтап қалуына үнемі кедергі келтіретініне қарамастан, бір сәтте камерада су болмауы мүмкін. Бұл сорғылардың жұмысы тиімді болуы үшін су айдау биіктігі 8 метрден

аспауы тиіс. 4-суретте су үсті сорғысының қозғалтқышын пайдаланатын сорғы жүйесі көрсетілген.



Сурет – Су үсті сорғы жүйесі

«Күн фототүрлендіргіші - сумен жабдықтау сорғы жүйесін» жобалау және сәтті құрастыру үшін алдымен судың күнделікті қажеттілігі және суару үшін пайдалану мақсатын анықталады, сондай-ақ жүйені пайдалану туралы деректер қолданылады. Әуелі бір күнде тұтынылатын судың жалпы мөлшерін анықтау қажет болады. Судың қажетті көлемі қысқа уақыт ішінде жоғары қуатты сорғылармен сорылады.

#### **Нәтижелер мен талқылау**

Судың тәуліктік қажеттілігі.

Тәулігіне қажетті су мөлшері ауа температурасына және қызмет түріне байланысты өзгереді. Дегенмен, ауа температурасы 25 °С-тан 35 °С-қа дейін, ал судың қажетті көлемі 2,5 есе артуы мүмкін. Бір тәулікке қажетті суару көлемін 3- кесте көмегімен анықтаймыз [6; 7].

## Кесте 4 – Суару үшін судың қажеттілігін есептеу

№	Ауыл шаруаш. дақылының атауы	Аумағы, га	Суару нормасы $m, m^3/га$	Суару нормасы $M, m^3/га$	Суар саны	Ауданға байланысты суару нормасы $M, m^3/га$
1	Жоңышқа	1, 0	800-1000	6000	6	6000
	Барлығы	1, 0				$W=6000 m^3$

Су қажеттілігі, әдетте, жаз айларына тура келеді. Желді, ыстық, құрғақ аймақтарда ашық сақтау әдістеріне байланысты булану шығындарын да ескеру қажет. Суаруға жұмсалатын судың қажеттілігі нақты рельефке, жыл мезгіліне, дақылға, жеткізу әдістеріне және булануға байланысты болады. Суару жұмыстары, әдетте күн радиациясының мөлшері максималды болатын жазғы маусымға сәйкес келеді.

Күнделікті су қажеттілігін есептеу үшін белгілі бір аумақта жер бетіне түсетін күн сәулесінің жалпы мөлшері, яғни күн сәулесінің «инсоляциясы» анықталады. Фотоэлектрлік модульдерден түсетін күн сәулесі сорғыны пайдалану үшін қажетті энергиямен қамтамасыз етеді. Күн сәулесінің мөлшері ұңғыма орналасқан жерге жақын ендік координаталары бойынша анықталады (Қызылорда үшін  $45^\circ$  пен  $67^\circ$  аралығы). Қыс мезгілінде суару қызметі өз жұмысын тоқтатады, ал жаз мезгілінде күннің инсоляциялық мәнін пайдалану тиімді болады.

**Эксперименттік зерттеу және нәтижелерді талдау**

Эксперимент жүргізу үшін келесі элементтер жиынтығы бар электр станциясы құрылды. Күн панелінің техникалық сипаттамасы келесідегідей болады [8]:

Қуат $(P_{max})$ Вт	Ұяшық саны	Бос жүріс кернеуі	Жұмыс кернеуі $(U_p)$ В	Қысқа тұйықталу тогы $(I_{к.з.})$ А	Жұмыс тогы $(I_p)$ А	ПӘК $(\%)$	Жұмыс температурасы	Өлшем $(mm)$
		жүріс	кернеуі	талу тогы	тогы	ӘК	с температура	емі

	(дан а)	( $U_{x.x.}$ ) В						
550	144 (6x2 4)	49,8	41,95	13,98	13,1 2	21, 3	-40°C - тан +85 °C дейі н	2279 х 1134 х 35

Экспериментте суасты сорғысының EX 50HPB-20K маркасы қолданылды, оның сипаттамалары келесідегідей [9]:

Қуаты (P) Вт	Жұмыс кернеуі (U) В	Өнімділігі ( $m^3/сағ$ )	Жұмыс темпера- турасы	Өлшемі (см)	Салмағы (кг)
2200	380	20	-40°C -тан +50 °C дейін	84x44x66	84

Тәжірибе нәтижесінде алынған тік көтерудің (горизонталь) мәні 4 - кестеде келтірілген [10].

Кесте 4 – Сорғының техникалық сипаттамалары

Кернеу, В	Өнімділігі, $m^3/сағ$	Ток, А	Қуат, Вт
380	1,8	1,3	500
380	3,6	2,1	800
380	5,4	3,1	1200
380	7,2	4,2	1600
380	10,8	5,2	2000

## Қорытынды

Қызылорда облысының географиялық орналасуы сумен жабдықтау жүйесінің сорғыларын электр энергиясымен қоректендіруде фотоэлектрлік элементтерді пайдалануға қолайлы мүмкіндік беретіні сондай-ақ, күн панельдерінің құнын және экономикалық қайтарымын қысқа мерзімде (3,5 – 4 жыл) өтей алатындығы анықталды.

Қызылорда өңірінің климаттық жағдайын ескеріп, күн батареяларын орнатудың оңтайлы бұрыштарын анықтау және күн батареяларынан максималды энергия алу үшін күнді тәулік бойы бақылаудың электрондық жүйесін құру үшін компьютерлік бағдарламаны одан әрі әзірлеу және тестілеуді жүргізу ұсынылады. Қызылорданың шөлді аймақтарында күн және жел энергиясымен жұмыс істейтін гибридіт энергетикалық жүйелерді одан әрі зерттеу және құру ұсынылады.

## Қаржыландыру ақпараты

Бұл мақала жоспарлы – нысаналы қаржыландыру жобасы (BR21882415) негізінде әзірленді.

## ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Основные климатические факторы [Электронный ресурс]. – <https://pogoda51.ru/osnovnye-klimaticheskie-factory-klimaticheskie-sezony-i-rajony-morya>.
- 2 Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Методические указания, 2011. – С. 4-15. [Электронный ресурс]. – [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/5225/Netradicionnye\\_i\\_vozobnovlyayemye\\_istochniki\\_energii.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/5225/Netradicionnye_i_vozobnovlyayemye_istochniki_energii.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- 3 **Пантелеев, В. П.** Солнечные водонагревательные установки [Текст] Тренинг Центра развития ВИЭ и энергоэффективности. – Бишкек, 2013. – 2 с.
- 4 **Бекман, У., Клейн, С., Даффи, Дж.** Расчет систем солнечного теплоснабжения [Текст]// Энергоиздат. – 1982. – С. 77-80.
- 5 **Ибрахим, А. Х.** Разработка насосной системы водоснабжения, работающей на солнечных батареях [Текст]// Электромеханика. – 2015. – № 4(540). – 50 с.

6 **Сабитов, А. У., Карабаев, А. Н.** Методика расчета рациональных параметров элементов техники полива [Текст]// Universum: технические науки: электронный. научный. Журнал, 2021. – 11(92). [Электронный ресурс]. – <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12527>.

7 **Бекмуратов, Т. У.** Методика расчета показателей для плана водопользования с учетом водооборота между водопотребителями. – С. 150-152.

8 Монокристаллическая солнечная батарея Sila Solar [Электронный ресурс]. – <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-550w-bifacial/>.

9 Насос для перекачки топлива взрывозащищенный EX 50 НРВ-20К [Электронный ресурс]. – <https://azs-snab.kz/shop/nasosy-i-agregaty/nasosy-380v/nasos-vzryvozashhishhennyj-50-nrv-20k/>.

10 **Кириллов, Д. В.** Работа центробежного насоса в трубопроводной сети. [Электронный ресурс]. – <https://www.isuct.ru/dept/chemkiber/piaht/edu/index.php?page=parameters.inc#pressureformula>.

## REFERENCES

1 Osnovnye klimaticheskie faktory [The main climatic factors] ] [Electronic resource]. – <https://pogoda51.ru/osnovnye-klimaticheskie-factory-klimaticheskie-sezony-i-rajony-morva>.

2 Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenergii Metodicheskie ukazaniya [Non-traditional and renewable energy sources Guidelines], 2011. – P. 4-15. [Electronic resource]. – [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/5225/Netradicionnye\\_i\\_vozobnovlyаемые\\_istochniki\\_energii.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/5225/Netradicionnye_i_vozobnovlyаемые_istochniki_energii.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

3 **Panteleev, V. P.** Solnechnye vodonagrevatel'nye ustanovki [Solar water heating installations] [Text] Trening Centra razvitiya VIIe i jenergojeffektivnosti. – Bishkek, 2013. – 2 p.

4 **Bekman, U., Klejn, S., Daffi, Dzh.** Raschet sistem solnechnogo teplosnabzheniya [Calculation of solar heat supply systems] [Text]. Jenergoizdat. – 1982. – P. 77-80.



5 **Ibrahim, A. H.** Razrabotka nasosnoj sistemy vodosnabzhenija, rabotajushhej na solnechnyh batarejah [Development of a solar-powered pumping water supply system] [Text]. Jelektromehaniка. – 2015. – № 4(540). – 50 p.

6 **Sabitov, A. U., Karabaev, A. N.** Metodika rascheta racional'nyh parametrov jelementov tehniki poliva [The method of calculating the rational parameters of the elements of irrigation technology] [Text]. Universum: tehicheskie nauki: jelektronnyj. nauchnyj. Zhurnal, 2021. – 11(92). ] [Electronic resource]. – <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12527>

7 **Bekmuratov, T. U.** Metodika rascheta pokazatelej dlja plana vodopol'zovanija s uchetom vodooborota mezhdu vodopotrebitelejami [Methodology for calculating indicators for a water use plan, taking into account water turnover between water consumers]. – P. 150-152

8 Monokristallicheskaja solnechnaja batareja Sila Solar [Sila Solar Monocrystalline Solar Battery] ] [Electronic resource]. – <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-550w-bifacial/>

9 Nasos dlja perekachki topliva vzryvozashhishhennyj EX 50 HPB-20K [Explosion-proof fuel pump EX 50 HPB-20K] ] [Electronic resource]. – <https://azs-snab.kz/shop/nasosy-i-agregaty/nasosy-380v/nasos-vzryvozashhishhennyj-50-nrv-20k/>

10 **Kirillov, D. V.** Rabota centrobezhnogo nasosa v truboprovodnoj seti [Operation of the centrifugal pump in the pipeline network]. ] [Electronic resource]. – <https://www.isuct.ru/dept/chemkiber/piaht/edu/index.php?page=parameters.inс#pressureformula>

11.03.24 ж. баспаға түсті.

01.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*\*Г. К. Сыдыкова, Ж. Т. Жунусов, И. Б. Култан*

Кызылординский университет имени Коркыт Ата,

Республика Казахстан, г. Кызылорда

Поступило в редакцию 11.03.24.

Поступило с исправлениями 01.05.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

*Использование солнечных электростанций является важнейшей отраслью нетрадиционной для Казахстана энергии, где было показано, что в целях водоснабжения выгодно использовать фотоэлектрический метод преобразования солнечной радиации в электрическую. В этой статье была разработана система водоснабжения, предназначенная для орошения на основе солнечной электростанции. С учетом географического положения Кызылординской области в целях оснащения ирригационной системы был поднят вопрос использования фотоэлектрических элементов в производстве электроэнергии. Для Кызылординского региона проведен анализ объема суточной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, разработана методика расчета и выбора насосной системы питания от солнечной электростанции, определено количество воды для потребления. При разработке солнечной фотопереключателя - насосной системы водоснабжения сначала была определена суточная потребность в воде, а также использованы данные об использовании системы. Был продемонстрирован тип подбираемого насоса, крутящий момент в соответствии с характеристиками насоса, необходимость максимально эффективной работы системы. В климатических условиях Кызылординской области рассчитаны оптимальные углы наклона солнечных панелей, позволяющие получать наиболее эффективную энергию в течение года. В ходе работы установлено, что разница солнечной радиации в зимние и летние месяцы зависит от географической широты установки энергетического комплекса.*

*Ключевые слова: энергетический комплекс, солнечная радиация, насос, фотопереключателъ, фотоэлектрический насос, солнечная инсоляция.*

\*G. K. Sydykova, Zh. T. Zhunusov, I. B. Kultan

Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda

Received 11.03.24.

Received in revised form 01.05.24.

Accepted for publication 02.06.24.

## **THE USE OF SOLAR CONVERTERS IN THE WATER SUPPLY SYSTEM**

*The use of solar power plants is the most important branch of non-traditional energy for Kazakhstan, where it has been shown that it is advantageous to use the photovoltaic method of converting solar radiation into electrical energy for water supply purposes. In this article, a water supply system designed for irrigation based on a solar power plant was developed. Taking into account the geographical location of the Kyzylorda region, in order to equip the irrigation system, the issue of using photovoltaic cells in electricity production was raised. For the Kyzylorda region, an analysis of the volume of daily solar radiation entering the horizontal surface was carried out, a method for calculating and selecting a pumping power system from a solar power plant was developed, and the amount of water for consumption was determined. When developing a solar photocell - pumping water supply system, the daily water demand was first determined, and data on the use of the system was also used. The type of pump to be selected, the torque in accordance with the characteristics of the pump, and the need for the most efficient operation of the system were demonstrated. In the climatic conditions of the Kyzylorda region, the optimal angles of inclination of solar panels have been calculated, allowing to obtain the most efficient energy throughout the year. During the work, it was found that the*

*difference in solar radiation in the winter and summer months depends on the geographical latitude of the installation of the energy complex.*

*Keywords: energy complex, solar radiation, pump, photo switch, photoelectric pump, solar insolation.*

МРНТИ 47.45.29

<https://doi.org/10.48081/DDLW7317>

**Б. Тұрдыбек<sup>3</sup>, Т. Г. Сериков<sup>1</sup>, \*Р. Т. Касым<sup>1,3</sup>,  
Қ. Ә. Өжікенов<sup>2</sup>, А. А. Тленшиева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

<sup>2</sup>К. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>3</sup>Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.  
\*e-mail: [kasym.ruslan@gmail.com](mailto:kasym.ruslan@gmail.com)

## **ПОРТАТИВТІ ЭКГ-НІҢ ИНТЕРФЕЙСТЕРІ АРАСЫНДА ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН ГИБРИДТІ ФРАКТАЛДЫҚ АНТЕННАМЕН СЫМСЫЗ БАЙЛАНЫС ОРНАТУ**

Қазіргі сценарийде денсаулық сақтаудың озық мақсаттары үшін тиімді медициналық мақсаттағы бұйымдарды жобалау саласында қарқынды даму жүріп жатыр. Бұл зерттеу жұмысында жасанды нейрондық желіні (ANN) және бірнеше үйінділермен оңтайландыруды қолдана отырып, ағаш тәрізді антеннаны жобалауға арналған гибридікті фракталдық тәсіл қарастырылған. ANN модельдеу, әсіресе ғылым мен техникада жиі кездесетін әртүрлі мәселелерді шешу үшін перспективалы шешім ұсынады. Ата-аналық гибридікті пішінді салу үшін Джузеппе Пеано тәрізді құрылымға Кох тәрізді құрылым қосылады. FR4 негізіндегі жобаланған прототиптің жалпы көлемі 24 x 20 x 1,6 мм<sup>3</sup> құрайды. Ағаш тәрізді геометрия таңдалған субстраттың орталық осіне орналастырылған микрожолқты сызықты беру арқылы қозғалады. «Lg» жер жазықтығының өлшемі бірнеше үйінділермен оңтайландыру әдісімен арнайы оңтайландырылған. Гибридікті фракталдық тәсілдің тиімділігін жүзеге асыру үшін жобаланған антенна эксперименталды түрде талданады. Жобаланған құрылым

*ықшам, геометриялық тартымды және жеткілікті өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді. Жобаланған антенна 2,41-ден 2,44 ГГц-ке дейін жұмыс істейді, негізгі жиілігі 2,42 ГГц. Жұмыс жиілігінде зерттелген  $s_{11} \leq -10$  дБ өткізу қабілеттілігі 1,44 % (35,1 МГц) құрайды. Сонымен қатар, жобаланған антенна мәлімделген жиілікте перспективалы күшейту және тұрақты сәулелену үлгілерін ұсынады. Таңдалған шығыс параметрлерін бағалау үшін жеңілдетілген ANN стратегиясы да қолданылады. Толықтығы үшін ұсынылған гибриді факталдық тәсілдің сенімділігін зерттеу үшін имитацияланған, бағаланған, оңтайландырылған және эксперименттік жауаптар туралы баяндалады. Сонымен қатар, өнімділік әр түрлі қоздыру әдістерімен жобаланған антеннаның әрекетін талдау арқылы тиімді сипатталады.*

*Кілтті сөздер: гибриді факталдық антенна, қоздыру әдістері, резонанстық жиілік, Биомедициналық қолдану, өткізу қабілеттілігі, жасанды нейрондық желі.*

## **Кіріспе**

Денсаулық сақтау саласы сенімді және тиімді антенналарды дамыту бағытында қарқынды дамып келеді [1]. Биомедициналық қосымшалар негізінен терапевтік және денсаулық сақтауды дұрыс бақылау үшін миниатюралық құрылғыларды қажет етеді [2; 3]. Антенналар биомедициналық сектормен байланысты екі маңызды салада қызмет етеді, мысалы, биотелеметрия және биомедициналық терапия [4]. Биотелеметрия амбулаториялық науқастардың физиологиялық параметрлерін/ жағдайларын қашықтықтан өлшеуді қамтиды, ал биомедициналық терапия бірнеше психикалық және/немесе физиологиялық бұзылуларды емдеу үшін арнайы медициналық процедураларды қолдануға бағытталған [5]. Қазіргі уақытта глюкозаны бақылау, нейростимуляторлар, эндоскопия, дефибрилляторлар және торлы қабық протездері және т.б. қашықтан бақылау құралын пайдаланатын медициналық қолданбалардың бірнеше мысалдары болып табылады [6]. Бұл салаларда денсаулық сақтау мекемелерін жақсарту үшін инновациялық антенналарды жобалау үшін инженерия, медицина және ғылым сияқты үш маңызды сала біріктірілген [7]. Факталдық электромагнетика - электромагниттік теория факталдық

антенналар деп аталатын антенналардың ерекше түрін жасауға мүмкіндік беретін, фракталдық дизайн тұжырымдамасымен біріктірілген белгілі бір сала [8]. Фракталдық конструкция өзіне ұқсас өрнектері бар геометриялық орналасу ретінде көрсетілген. Фракталдық құрылымдар өзіндік ұқсастық және кеңістікті толтыру сияқты бірегей мүмкіндіктерді ұстанады, нәтижесінде көп жолақты/кең жолақты функционалдығы бар ықшам, шағын өлшемді антенналар пайда болады [9]. Нарықтың шағын өлшемді антенналарды шығаруға деген сұранысы жақсартылған сипаттамалары бар әртүрлі фракталдық конфигурацияларды біріктіруге мәжбүр етеді [10]. Сонымен қатар, бұл революциялық инновациялық гибридті фракталдық процедура фракталдардың ерекше түрлерін нақты анықталған ерекшеліктерімен біріктіру арқылы сымсыз технологиясы бойынша жұмыс жасайтын құрылғылар жасауға мүмкіндік береді [11].

Кох фракталына негізделген дөңгелек поляризацияланған антеннаның дизайны эксперименталды түрде зерттелді. Шарма және басқалар. Кох пен Гильберт пішіндерінің қоспасы арқылы жасалған фракталдық антеннаны суреттеді. Нәтижелер екі түрлі беру орнында есептелді, содан кейін өнімділік күтілді. Сақина тәрізді өрнекті қолданатын бірнеше кірістірілген алтыбұрышты фракталдық антенналар әртүрлі айналу бұрыштарымен жобаланған. Жасанды прототиптер талданып, олардың сымсыз қосымшалар үшін пайдалы екендігі анықталды. Қазіргі уақытта зерттеушілер биомедициналық мақсаттарға арналған антенналарды зерттеуге және физикалық іске асыруға үлкен қызығушылық танытуда. Бұрын антенналарға қатысты миниатюризацияның әртүрлі стратегиялары ұсынылған. Каур әдебиетінде антенналардың биомедициналық сектордағы рөлін нақты сипаттады. Бұл антенналар бірнеше зиянды ауруларды тезірек және ыңғайлы түрде емдеуге мүмкіндік береді. Дөңгелек поляризацияланған антеннаның әрекетін эксперименталды түрде көрсетті және оның өнеркәсіптік, ғылыми және медициналық салаларды биотелеметрия қолданбалары үшін жоғары тиімді. Жаңа үшбұрышты ұяшық антеннасы 2,45 ГГц жиілікте бағаланды. Өлшемі  $18 \times 24 \times 0,65 \text{ мм}^3$  алюминий керамикалық материалынан жасалған антенна салынды. L-тәрізді ойықтар патчтан ойылып, копландық толқын өткізгіштің қоректену құрылымымен қоректенді. ISM диапазонын қолдану үшін FR4 негізіндегі қос V-тәрізді антеннаның әрекеті бар. Соңғы жылдары жасанды нейрондық

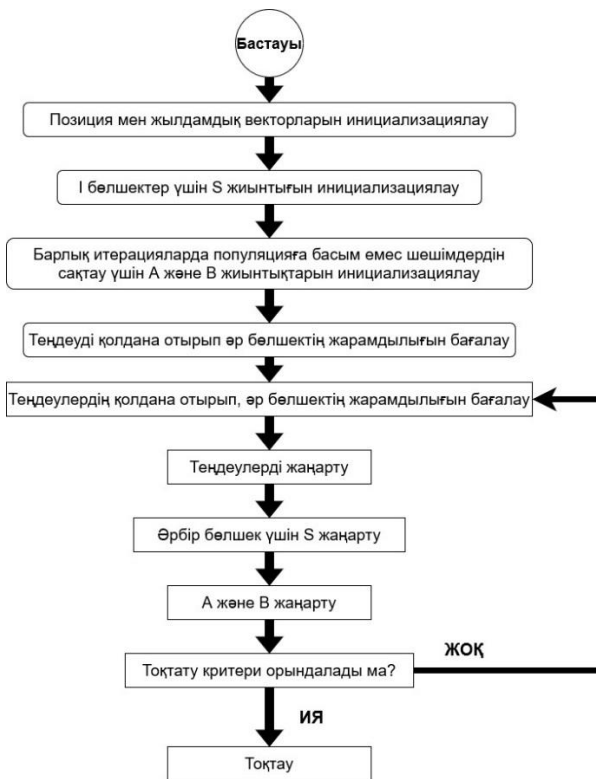
желі (ANN) тәсілі бірнеше инженерлік және оңтайландыру мәселелерінде сәтті қолданылды.

### **Материалдар мен әдістер**

Жобаланған прототиптің сенімділігі мен тиімділігінің бірнеше дәлелдерін ұсыну үшін осы бөлімде сандық модельдеу мен эксперименттік өлшеулерден алынған нәтижелер сипатталған.

Жобаланған ағаш тәрізді гибридігі фракталдық антенна жүйелі және дәл үлгіленген. Дизайн критерийі қажетті өнімділікке назар аударатырып, дұрыс таңдалады. Антеннаның  $S_{11}$  мәні төмен болуы керек ( $\leq -10$  дБ) және қызығушылық жиілігінде жоғары пайда болуы керек. Жобаланған құрылымның бастапқы дизайн өлшемдері таңдалады, содан кейін тиімді және өнімділігі жоғары 3d симуляторына негізделген ақырғы элементтер әдісі арқылы тексеріледі, яғни жоғары жиілікті құрылым симуляторы (HFSS) бағдарламалық жасақтамасы. Гибридігі фракталдық тұжырымдаманың тиімділігі үшін 2-ші итерацияға дейін модельдеу жүргізіледі. Ағымдағы ағын жолдарының электрлік ұзындығының ұлғаюы туралы хабарланды, бұл негізгі жұмыс жиілігін төмендетуге мүмкіндік береді.





Сурет 1 – SO алгоритмінің сұлбасы

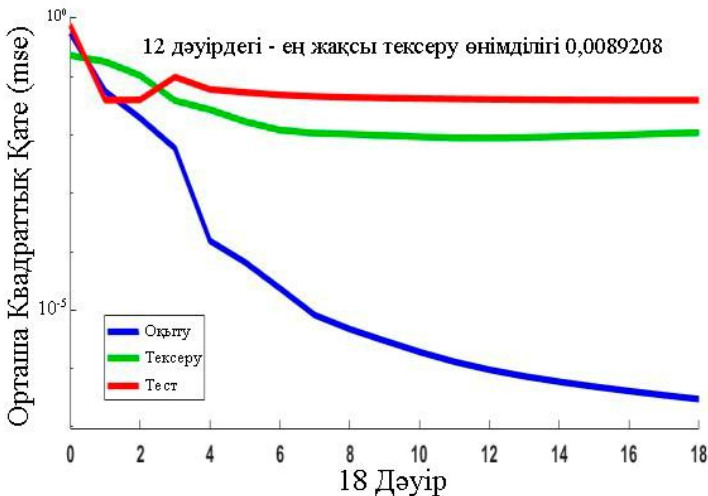
Кесте – 1 Модельдеу және эксперименттік өлшеулерден Кейін Алынған Нәтижелер

Параметр	Имитациялан ған	Өлшенге н
Жұмыс жиілігінің диапазоны (Гц)	2.43-2.46	2.41-2.44
Негізгі жиілік (Гц)	2.45	2.42
Өткізу Қабілеті (МГц)	35.9 (1.46)	35.1 (1.44 %)
S11 (дБ)	-21.01	-15.09

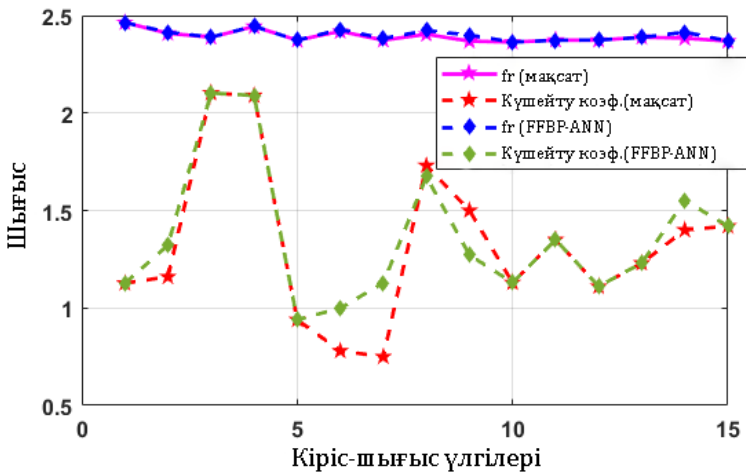
Жақсырақ түсінуге көмектесу үшін модельдеу және эксперименттік сынақтар арқылы алынған болжамды гибриді факталдық антеннаның соңғы нәтижелері 2-Кестеде келтірілген. Модельдеу кезінде байқалатын резонанстық жиілік 2,45 Гц құрайды, ал өлшеу кезінде зерттелген іргелі жиіліктің мәні 2,42 Гц құрайды [12]. VSWR бақыланатын мәні жұмыс жиілігінде рұқсат етілген шектерде ( $v_{swr} \leq 2$ ) болады. Өлшенген өткізу қабілеттілігі 35,9 Мгц имитацияланған өткізу қабілеттілігімен салыстырғанда 35,1 Мгц-ке дейін қысылады. Сонымен қатар, қызығушылық жиілігінде зерттелген антеннаның күшеюі 3,69 дБ құрайды. Бағаланатын нәтижелердегі шамалы ауытқулар негізінен дайындықтың сәйкессіздігіне байланысты. Жобаланған антенна солға қарай 50-ге қисайған кезде 1,23 дБ және S11 мәнін 2,42 Гц жиілікте -10 дБ-ден төмен арттыруды қамтамасыз етеді. Сол сияқты, сол антенна 50-ге оңға қисайған кезде, ол резонансты көрсетеді

#### **Нәтижелер және талқылау**

Антеннаның қажетті параметрлерін бағалау үшін Левенберг-Марквардт алгоритмімен оқытылған FFBP-ANN-ге артықшылық беріледі. Болжалды имплантацияланатын антеннаның мінез-құлқын талдау үшін 25 антеннадан тұратын деректер қоры пайдаланылады. Нейрондық желінің нәтижелері MATLAB бағдарламалық жасақтамасында талданады. FFBP-ANN екі кіріспен қоректенеді, яғни «ls» және «ws» және желінің шығысында болжанған параметрлер «fg» және «g» болып табылады. Резонанстық жиіліктің «fg» және «g» күшейту мәндері төмен қарай белгіленеді. «Ls» мәні 23,5-тен 27,5 мм-ге дейін, ал "ws" мәні 20-дан 26 мм-ге дейін. FFBP-ANN дәл нәтижелерге қол жеткізу үшін бірнеше рет оқытылады. TANSIG және PURELIN - сәйкесінше жасырын және шығыс қабатымен байланысты таңдалған белсендіру функциялары. 2 сурет Левенберг-Марквардт алгоритмі негізінде FFBP-ANN өнімділік сызбасын көрсетеді. Бұл сюжет валидация, тестілеу және оқыту үшін ең жақсы нәтижелерді ұсынады. Айта кету керек, спектакль сюжеті бойынша зерттелген ең жақсы валидация өнімділігі жалпы 18 дәуірдің 12-ші дәуірінде 0,0089208 құрайды. 3-суретте мақсатты және FFBP-ANN нәтижелерін салыстыру көрсетілген.



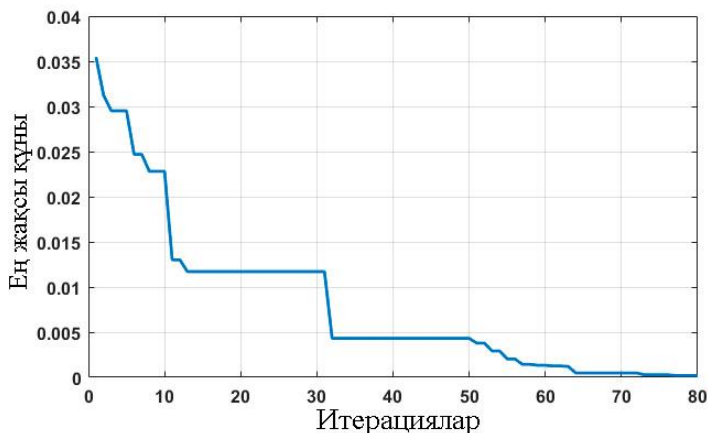
Сурет – 2 FFBP-ANN моделінің Өнімділік сюжеті



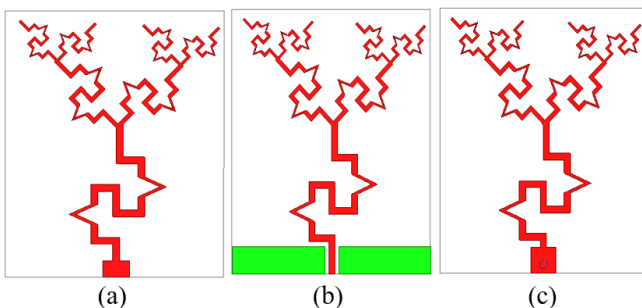
Сурет – 3 Мақсатты және FFBP-ANN нәтижелері

Ұсынылған FFBP-ANN жұмысының мінез-құлқы абсолютті қателік пен орташа квадраттық қателік негізінде бағаланады. Абсолютті қателік оқытудың сапасы туралы білімді қамтамасыз етеді, ал орташа квадраттық қателік мақсаттар мен нақты нәтижелер арасындағы квадраттық

айырмашылықтың орташа мәнін өлшейді. Орташа квадраттық қатенің мәні желінің тиімділігін көрсетеді. 4-суретте ұсынылған FFBP-ANN моделімен анықталған өнімділік келтірілген. Тар мағынада FFBP-ANN моделі антеннаның таңдалған жұмыс параметрлерін болжаудың тиімді құралы болып табылады деген болжам бар.



Сурет. 4. Итерациялармен ең жақсы шығындардың вариациялары

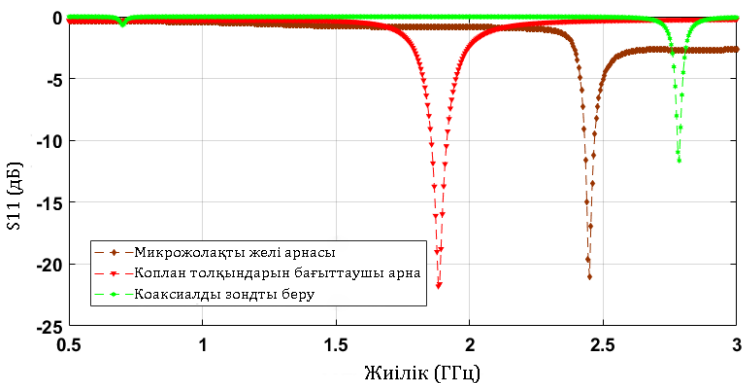


Сурет – 5 (a) Микрожолоқты желілік берілісі бар жобаланған антенна; (b) Копландық толқын өткізгішті беру; (c) Коаксиалды беру

SO нәтижелерінде жобаланған ағаш тәрізді антеннаны жобалау кезінде бірнеше үйінділермен оңтайландыру әдісі қолданылады. Бұл әдіс жердегі жазықтық ұзындығының «Lg» оңтайландырылған мәніне қол жеткізуге көмектеседі. Бұл алгоритмде таңдалған популяция саны 40-қа

тең, ал максималды итерациялар 80-ге тең болады. Есептеу кезінде тиісті жоғарғы және төменгі шектер қарастырылған. Тұжырымдалған шығын функциясы "Lg" оңтайландырылған мәні ретінде 17,70 мм құрайды. Алынған шығындардың ең жақсы мәні - 2.0784 e-04. Жер ұзындығының бұл мәні жобалау мәселесі мен талаптарына сәйкес ұсынылған алгоритмнің қолданылуын сәтті дәлелдейді.

Антеннаны жобалау процесінде қоректендіру механизмі маңызды рөл атқарады, себебі ол кедергінің дұрыс сәйкестігін қамтамасыз ету арқылы шағылысуларды азайтуға көмектеседі. Оның негізгі функциясы кіріс сигналын қарастырылып отырған құрылғыға тиімді қосу болып табылады. Тиісті қоздыру әдісін таңдау өте маңызды міндет болып табылады, өйткені ол осы зерттеуде қарастырылған қозудың барлық әдістеріне қатысты жобалау критерийлері туралы терең білімді қажет етеді. Қозу критерийлері кіріс кедергісіне және құрылғымен байланысты басқа да маңызды сипаттамаларға әсер етеді. Бұл жұмыста қоздыру әдістерінің үш түрі таңдалады: микрожолық, копландық толқын өткізгіш және коаксиалды зонд.



Сурет 6–  $S_{11}$  әр түрлі қоздыру техникасы нәтижелері

Ұсынылған геометрияны әртүрлі қоздыру әдістерімен жобалау кезінде бірдей диэлектрлік материал мен модельдеу құралы қолданылатынын айта кеткен жөн. Әр түрлі қоздыру әдістерімен жобаланған прототипті ашады. Копландық толқын өткізгіште (CPW) қоректенетін құрылымда бірдей жердегі жазықтықтар CPW сызығының екі жағына симметриялы түрде

орналастырылған. Симметриялы жер құрылымының ұзындығы мен ені сәйкесінше 2,5 және 9,3 мм құрайды. Коаксиалды зондты беру жобаланған антеннаның түбіне жақын орналасқан. Әр түрлі қоздыру әдістерімен ұсынылған гибридітті фракталдық антеннаның әрекеті талданады, содан кейін алынған нәтижелер салыстырылады. Осылайша, қозудың ең жақсы әдісі дизайн талаптарына сәйкес бағаланады. Әр түрлі берілістері бар жобаланған ағаш тәрізді гибридітті фракталдық антенна жеке жобаланған және имитацияланған. Үш түрлі қоздыру техникасы бар жобаланған прототиптің s11 мінез-құлқының сипаттамасы 6 суретте көрсетілген.

Осы нәтижелерді салыстырғаннан кейін, микрожолақты беру дизайн талаптарына сәйкес қолайлы өнімділік беретіні айтылады. Салыстыру үшін қарастырылатын параметрлер субстрат түрі, көлемі, жұмыс жиілігінің диапазоны және жобаланған антеннаның түрі болып табылады. Әрбір жобаланған прототиптің пішіні мен өлшемі әртүрлі. Кейбір антенналар Медициналық Имплантация Байланысы Қызметі (MICS) және Өндірістік, Ғылыми және Медициналық (ISM) сияқты екі биомедициналық жолақты қамтиды. Осы салыстыру негізінде жобаланған гибридітті фракталдық антенна s11 сипаттамалары, күшейту және сәулелену үлгісі тұрғысынан медициналық жүйелердің қажетті талаптарын қанағаттандыратыны анық. Бұл жерде айта кететін жайт, жобаланған гибридітті фракталдық биомедициналық құрылғы денсаулық сақтау саласына күшті үміткер болып табылады.

### **Қорытынды**

Бұл мақалада ann және MSO негізіндегі ағаш тәрізді гибридітті фракталдық құрылым, көрнекі түрде тартымды, денсаулық сақтау қолданбалары үшін іс жүзінде талданады. MSO әдісі жер ұзындығының оңтайлы мәнін алу үшін қолданылады. Радиациялық сипаттамалары, күшейту және өткізу қабілеттілігі биомедициналық сектордың талаптарына сәйкес қолайлы. Антенна қажетті жұмыс диапазонында  $vswr \leq 2$  сәйкес келеді. -10 дБ өлшенген өткізу қабілеттілігі операциялық диапазон үшін 1,44% (2,41-2,44 Гц) құрайтыны зерттелді. Бұдан басқа, антенна екі бағытты сәулелену үлгілерін қолайлы күшейту мәнімен қамтамасыз етеді. әзірленген ANN моделі жұмыс резонанстық жиілігі мен күшейту сияқты антеннаның шығыс параметрлерін болжауға жарамдылығын тиімді көрсетеді. Эксперименттік түрде жүзеге

асырылатын жобаланған прототип медициналық жүйелерді тиімді қолдай алады.

## REFERENCES

1 **Ashok Kumar, S., Shanmuganatham, T.** Analysis and design of implantable Z-monopole antennas at 2.45 Ghz ISM band for biomedical applications/ Ashok Kumar S., Shanmuganatham T. // *Microwave and Optical Technology Letters*. – 2015. – Vol. 57. – № 2. – P. 468–473.

2 **Kim, J., Rahmat-Samii, Y.** Implanted antennas inside a human body: Simulations, designs, and characterizations / Kim J., Rahmat-Samii Y. // *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*. – 2004. – Vol. 52. – № 8. – P. 1934–1943.

3 **Sukhija, S., Sarin, R. K.** A U-shaped meandered slot antenna for biomedical applications / Sukhija S., Sarin R. K. // *Progress In Electromagnetics Research M*. – 2017. – Vol. 62. – P. 65-77.

4 **Lee, C.-M & Yo, T.-C & Huang, F.-J & Luo, C.-H.** Dual-resonant  $\pi$ -shape with double L-strips PIFA for implantable biotelemetry / Lee, C.-M & Yo, T.-C & Huang, F.-J & Luo, C.-H. // *Electronics Letters*. – 2008. – Vol. 44. – №. 14. – P. 837-839.

5 **Sánchez-Fernández, C. J. & Quevedo-Teruel, Oscar & Requena Carrión, Jesús & Inclan-Sanchez, L. & Rajo-Iglesias, Eva.** Dual-band microstrip patch antenna based on short-circuited ring and spiral resonators for implantable medical devices / Sánchez-Fernández, C. J. & Quevedo-Teruel, Oscar & Requena Carrión, Jesús & Inclan-Sanchez, L. & Rajo-Iglesias, Eva. // *IET microwaves, antennas & propagation*. – 2010. – Vol. 4. – № 8. – P. 1048-1055.

6 **Kumar, S. A., Shanmuganatham, T.** Implantable CPW-fed rectangular patch antenna for ISM band biomedical applications / Kumar S. A., Shanmuganatham T. // *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*. – 2014. – Vol. 6. – №. 1. – P. 101–107.

7 **Karacolak, T., Hood, A. Z., Topsakal, E.** Design of a dual-band implantable antenna and development of skin mimicking gels for continuous glucose monitoring / Karacolak T., Hood A. Z., Topsakal E. // *IEEE transactions on microwave theory and techniques*. – 2008. – Vol. 56. – № 4. – P. 1001–1008.

8 **Bhattacharjee S., Maity S.** Miniaturization of MEMS-based smart patch antennas for biomedical applications / Bhattacharjee S., Maity S. // Proceedings of the International Conference on Recent Cognizance in Wireless Communication & Image Processing: ICRCWIP-2014. – Springer India, 2016. – P. 279–285.

9 **Choukiker, Y. K., Sharma, S. K., Behera, S. K.** Hybrid fractal shape planar monopole antenna covering multiband wireless communications with MIMO implementation for handheld mobile devices / Choukiker Y. K., Sharma S. K., Behera S. K. // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2013. – T. 62. – №. 3. – P. 1483-1488.

10 **Kasym, R. T., Tolegenova, A. S., Soboleva, L. A., Bolatbekov, A., Serikov, T. G.** «Model of ultra-wideband multi-antenna wireless transfer of information between interfaces» / R. T. Kasym, A. S. Tolegenova, L. A. Soboleva, A. Bolatbekov, T. G. Serikov // Bulletin of Toraygyrov University, ISSN 2710-3420. – No. 2 (2023).

11 **R. T. Kasym, B. Turdybek, A. T. Zhetpisbaeva, A. J. Erdenov, T. G. Serikov,** «Creating a mathematical model for improving the parameters of a wideband wireless chip communication channel» / R. T. Kasym, B. Turdybek, A. T. Zhetpisbaeva, A. J. Erdenov, T. G. Serikov // Bulletin of Toraygyrov University, ISSN 2710-3420, No. 1 (2023).

12 **Kasym, R. T., Umirbekova, Z. M., Serikov, T. G., Tolegenova, A. S., ATlenshieva, A.** «Optimization model of ultra-wideband multi-antenna wireless transfer of information between interfaces» / R.T. Kasym, Z.M. Umirbekova, T.G. Serikov, A.S. Tolegenova, A.A. Tlenshieva // Bulletin of Toraygyrov University, ISSN 2710-3420, No. 3 (2023).

22.04.24 ж. баспаға түсті.

01.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.24 ж. басып шығаруға қабылд



Б. Турдыбек<sup>3</sup>, Т. Г. Сериков<sup>1</sup>, \* Р. Т. Касым<sup>1,3</sup>, Қ. А. Ожикенов<sup>2</sup>,  
А. А. Тленишева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский Агротехнический исследовательский университет имени  
С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup>Казахский Национальный Исследовательский Технический университет  
имени К. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>3</sup>Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы

Поступило в редакцию 22.04.24.

Поступило с исправлениями 01.05.24.

Принято в печать 03.06.24.

## **БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ С ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ГИБРИДНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ МЕЖДУ ИНТЕРФЕЙСАМИ ПОРТАТИВНОЙ ЭКГ**

*В современном сценарии идет интенсивное развитие в области проектирования эффективных медицинских изделий для передовых целей здравоохранения. В этой исследовательской работе рассматривается гибридный фрактальный подход к проектированию древовидной антенны с использованием искусственной нейронной сети (ANN) и оптимизации с несколькими кучами. ANN предлагает многообещающее решение для решения различных проблем, которые часто встречаются в моделировании, особенно в науке и технике. Кохоподобная структура добавляется к структуре, похожей на Джузеппе Пеано, чтобы создать родительскую гибридную форму. Общий размер проектируемого прототипа на основе FR4 составляет 24 x 20 x 1,6 мм<sup>3</sup>. Древовидная геометрия движется, давая микротрещину, расположенную на центральной оси выбранной подложки. Размер плоскости Земли «Lg» специально оптимизирован методом оптимизации с несколькими насаями. Чтобы реализовать эффективность гибридного фрактального подхода, проектируемая антенна анализируется экспериментально. Спроектированная конструкция компактна, геометрически привлекательна и обеспечивает достаточную пропускную способность. Спроектированная*

*антенна работает от 2,41 до 2,44 Гц с базовой частотой 2,42 Гц. При рабочей частоте исследуемая полоса пропускания  $s_{11} \leq -10$  дБ составляет 1,44% (35,1 МГц). Кроме того, проектируемая антенна обеспечивает многообещающее усиление и стабильные модели излучения на заявленной частоте. Упрощенная стратегия ANN также используется для оценки выбранных параметров вывода. Для полноты картины будут представлены смоделированные, оцененные, оптимизированные и экспериментальные ответы для изучения надежности предложенного гибридного фрактального подхода. Кроме того, производительность эффективно описывается путем анализа поведения антенны, спроектированной различными методами возбуждения.*

*Ключевые слова: гибридная фрактальная антенна, методы возбуждения, резонансная частота, биомедицинское применение, пропускная способность, искусственная нейронная сеть.*

*B. Turdybek<sup>3</sup>, T. G. Serikov<sup>1</sup>, \* R. T. Kassym<sup>1,3</sup>, K. A. Ozhikenov<sup>2</sup>,  
A. A. Tlenshieva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>S. seifullin Kazakh Agrotechnical research university,  
Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>2</sup>K. Satpayev Kazakh National Research Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>3</sup>Academy of Logistics and Transport, Republic of Kazakhstan, Almaty  
Received 22.04.24.

Received in revised form 01.05.24.

Accepted for publication 03.06.24.

## **WIRELESS COMMUNICATION WITH AN OPTIMIZED HYBRID FRACTAL ANTENNA BETWEEN THE INTERFACES OF A PORTABLE ECG**

*In the current scenario, there is a rapid development in the field of designing effective medical devices for advanced health purposes. This research paper considers a hybrid fractal approach to designing a tree-*

*like antenna using an artificial neural network (ANN) and optimization with multiple heaps. ANN modeling offers a promising solution to solve various problems that are often encountered, especially in science and technology. A Koch-like structure is added to the Giuseppe Peano-like structure to build the parent hybrid shape. The total size of the designed prototype based on the FR4 is 24 x 20 x 1.6 mm<sup>3</sup>. The tree-like geometry is driven by giving a microband line placed on the central axis of the selected substrate. The size of the Earth plane «Lg» is specially optimized by the optimization method with several heaps. To realize the effectiveness of the hybrid fractal approach, the designed antenna is analyzed experimentally. The designed structure is compact, geometrically attractive and provides sufficient bandwidth. The designed antenna operates from 2.41 to 2.44 GHz with a base frequency of 2.42 GHz. The bandwidth of  $S_{11} \leq -10$  DB studied at the operating frequency is 1.44 % (35.1 MHz). In addition, the designed antenna provides promising amplification and stable radiation patterns at the declared frequency. A simplified ANN strategy is also used to estimate the selected output parameters. For completeness, simulated, evaluated, optimized and experimental responses are reported to study the reliability of the proposed hybrid fractal approach. In addition, the performance is effectively described by analyzing the behavior of the designed antenna with different excitation methods.*

*Keywords: hybrid fractal antenna, excitation methods, resonant frequency, biomedical application, bandwidth, artificial neural network.*

IRSTI 87.15.15

<https://doi.org/10.48081/YPLS1590>**\*A. A. Faurat, A. B. Toktarbekova**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

\*e-mail: [faurat.aa@teachers.tou.edu.kz](mailto:faurat.aa@teachers.tou.edu.kz)

## **ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF INDUSTRY ON POLLUTION OF SNOW AND SOIL WITH HEAVY METALS IN PAVLODAR**

*The article investigates soil contamination with heavy metals (zinc, lead, chromium, and manganese) in the snow and soil cover within the influence zone of thermal power plants and facilities of the petrochemical and metallurgical industries. To assess the anthropogenic impact on deposition environments, an analysis of heavy metal content was conducted using various indices and coefficients. The following were utilized: pollution index, enrichment factor relative to Clarke's concentration of the metal in the Earth's crust and in soils, hazard quotient (exceedance of MPC), as well as an adapted coefficient of heavy metal accumulation in soil relative to its content in snow. The main patterns of accumulation and distribution of chemical elements in soil and snow were identified. The study revealed that manganese predominates in terms of the average content of heavy metals in solid snow sediment and soils. Lead shows the lowest values in snow. In the soil cover, the greatest exceedance of MPC pertains to manganese - by 30 times. The content of other metals also exceeds the soil MPC, except for lead. Significant fluctuations in metal content at different sites indicate the influence of various factors such as wind direction, precipitation, and the presence of other industrial enterprises.*

*Keywords: heavy metals, industrial zone, snow cover, urban soils, pollution index.*

## **Introduction**

Thermal power plants (CHPP – Combined Heat and Power Producing) are one of the main sources of environmental pollution, including snow and soil. The primary pollutants from these enterprises are heavy metals, categorized as super-ecotoxicants, possessing mutagenic and carcinogenic properties, as well as the ability to accumulate in environmental objects. The most dangerous in this sense are heavy metals of toxicity classes 1 and 2 (lead, cadmium, mercury, nickel, cobalt, chromium, vanadium, copper and zinc, as well as arsenic, selenium and antimony). Heavy metal pollution from thermal power plants is primarily associated with coal combustion, highlighting the significant impact of industrial activities on the accumulation of heavy metals in the environment [1].

The increasing pollution of natural environments with gaseous, solid, and liquid harmful emissions from thermal power plants leads to the disruption of the self-recovery principle, which is one of the fundamental principles of nature. Of particular interest and practical significance is, on one hand, understanding the mechanisms and regularities of behavior and distribution of heavy metals in the environment. On the other hand, the fact that there are essentially no self-purification mechanisms for them – they merely move from one natural reservoir to another, interacting with various categories of living organisms and leaving negative consequences of this interaction everywhere they go. Such reservoirs include deposition environments: snow and soil covers [2].

Snow cover has the ability to accumulate almost all substances entering the atmosphere from various sources, which makes it an effective indicator of pollution when monitoring air and soil quality in urban areas. One approach to such monitoring is to study the accumulation of pollutants, including heavy metals, in the snow cover, which serves as an important depositing medium [3; 4; 5]. Another accumulating medium that accumulates pollutants is soil. Soil is considered one of the basic resources for the survival of mankind because, by satisfying the food needs of all living organisms, soil performs the function of producing nutrients. Both covers are closely interconnected; snow is not active either chemically or biologically and, therefore, is an indicator of previous atmospheric pollution and future pollution of the soil and hydrosphere, into which water-soluble and solid pollutants migrate during snow melting. The soil, in turn, accumulates heavy metals and contributes to the further accumulation of toxicants in plants.

In this context, heavy metal pollution poses a serious problem worldwide, constituting an issue of environmental safety and sustainable resource management. Therefore, research aimed at identifying the level of pollution and the characteristics of heavy metal distribution in snow and soil covers within the influence zone of thermal power plants is more relevant than ever.

To date, several foreign studies have been carried out on this topic. Research by Yakovlev (2022) [5] revealed that in the zone of influence of a thermal power plant, a very voluminous sediment is formed in the snow cover, which includes soot and other products of coal combustion. The insoluble form of the studied snow contains more metals than the soluble form [5]. In China, in 2021, measurements were taken of the concentrations of heavy metals such as: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb and Zn in surface soil layers in the area adjacent to a coal-fired power plant. According to the research results, the degree of contamination varied from severe to moderate. Cd, Hg and As were found to be major contributors to potential environmental risk. The results also showed that wind direction is important for the distribution of heavy metals around a coal-fired power plant [6]. Another study of soil pollution in an area adjacent to a coal-fired power plant in southwest China found that CHP contributed to contamination of nearby soils with Pb, Cd, As, Hg, Cu and Cr, especially mercury. Moreover, soil mercury contamination was caused mainly by fly ash from a coal-fired power plant in Jinsha [7].

In research of Kai Che, 2022 [8] As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg and Ni were analyzed in the flue gases of six power plants. The results showed that the main pollutants in thermal power plants were Cu, Cr and Ni. The average content of Cr, Cu, Pb, Hg and Ni in the surface layer of soil surrounding the coal-fired power plant was 1.16-2.32 times higher than background values. Source analysis showed that emissions from coal combustion contributed the most to the formation of heavy metals in soil around power plants (41.4 %), followed by industrial emissions (23.6 %) and transport emissions (19.6 %) [8].

Based on the examples given, it is obvious that the content of heavy metals in snow and soil around thermal power plants is the subject of extensive research. Statistical analyzes and studies of heavy metals in snow and soil have identified thermal power plants as sources of pollution, highlighting the need for comprehensive monitoring and mitigation strategies [9]. The results of these studies provide valuable information on the sources, distribution and effects of

heavy metals, highlighting the need for effective measures to address this environmental problem [10].

This study will analyze heavy metal pollution in the northern industrial zone of the city of Pavlodar. The electric power industry in the city is represented by Pavlodarenergo JSC. Which in the study area includes Pavlodar CHPP-2; Pavlodar CHPP-3 and other facilities. Snow and soil covers were selected as research objects. The purpose of this work is to study technogenic pollution of snow cover and soils with heavy metals.

1)The objectives of our research included:

determination of the concentration of heavy metals in the solid fraction of snow cover in the zone of influence of thermal power plants; 2) identification of the content of heavy metals in the soil in the northern industrial zone of Pavlodar; 3) assessment of heavy metal contamination of the environments under consideration, analysis of the accumulation of toxicants in the soil;

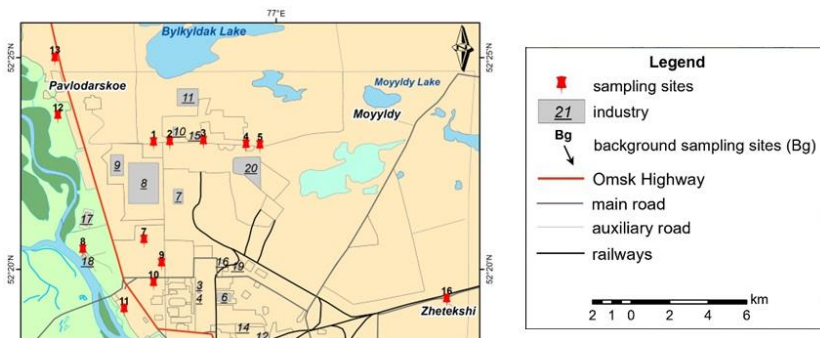
4) comparative assessment of the spatial distribution of heavy metals in snow and soil covers.

## **Materials and methods**

### *Study area and sample collection*

The study of snow cover and soils was carried out in the city of Pavlodar in 2023. Sampling sites were identified (Figure 1). Snow cover sampling was carried out according to Methodological recommendations [11; 12].

Samples were taken on the territory of the northern industrial zone, at various distances from industrial facilities, based on the wind rose. The environmental gradient was taken into account, i.e. gradual reduction of the influence of factories, thermal power plants and other objects. Sampling sites were located at a distance of 100 m, 500 m, 1000 m, 2000 m, 3000 m, 4000 m and 5000 m from Pavlodar Petrochemical Plant JSC, CHPP-2, CHPP-3. Sampling sites also included the vicinity of ash dumps of thermal power plants, residential areas of the city (Lesozavod district), the villages of Zhanaul and Pavlodarskoye, summer cottages, and vegetable gardens of residential areas [13]. A total of 14 snow samples were taken.



Picture 1– Location of the study area and sampling sites in Pavlodar

3 – Pavlodar branch of «KSP Steel» LLP, 4 – Pavlodar branch of «Casting» LLP; 6 – CHPP-2 of «Pavlodarenergo» JSC, 7–CHP-3 of «Pavlodarenergo» JSC; 8 - Pavlodar Petrochemical Plant JSC, 9 – «Neftekhim Company LTD» LLP,

10 – «Kaustik» JSC, 11 – UPNK-PV LLP; 12 – Kazenergokabel JSC, 14 – «Pavlodar Pipe Rolling Plant» LLP, 15 – «PMZ DAMAK» LLP, 16 - Cardboard and Ruberoid Plant, 17 – Pavlodar TcGOS, 18 – JSC «Pavlodar River Port», 19 – «Company of Industrial Materials (KPM)» LLP.

The soil sampling sites coincide with the snow cover sampling sites to determine the pattern of heavy metal content in various environments. During the sampling process, the sampling methodology of the Interstate Standard GOST 17.4.4.02-2017 «Nature Protection (Environmental Protection) – Soils» was employed. Sampling was carried out using the «envelope» method in the upper soil horizon, up to 15 cm deep (the depth of the arable layer) to study the accumulation of heavy metals on the soil surface as a result of melting snow cover and their effect on plants. A total of 14 soil samples were taken.

Laboratory tests were carried out in the laboratory of the branch of the Institute of Radiation Safety and Ecology of the RSE at the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. The analysis of the content of chemical elements in the solid phase of snow and soil was carried out by mass spectrometry with inductively coupled plasma using an Agilent 7700 X ICP-MS in accordance with the Measurement procedure No. 499-AES/MS MCHA «Methods of quantitative chemical analysis. Determination of the elemental composition of rocks, soils



and bottom sediments by atomic emission with inductively coupled plasma and mass spectral with inductively coupled plasma methods" KZ.07.00.03351-2016.

For further analysis of contamination of depositing environment, 4 metals were selected, which are the most toxic and also make a large contribution to the pollution of the city's snow and soil cover. The first hazard class includes zinc (Zn) and lead (Pb), the second – chromium (Cr), and the third class – manganese (Mn).

#### *Statistical processing and coefficient calculations*

To assess the pollution of snow and soil covers with heavy metals, the pollution index (PI) was calculated. PI is calculated by comparing the actual (anomalous) content of the pollutant in the natural object to its background level in a similar object.

*Pollution index (PI) formula:*

$$PI = \frac{C_n}{B_g}, \quad (1)$$

where  $C_n$  is the content of heavy metals in the soil,  $B_g$  is the content of heavy metals in background samples.

*Pollution coefficient relative to MPC (PI<sub>mpc</sub>)* - the ratio of the metal content in snow or soil to the maximum permissible metal concentration.

$$PI_{mpc} = \frac{C_n}{MPC}, \quad (2)$$

where  $C_n$  is the concentration of pollutant in snow or soil;

MPC is the maximum permissible concentration of pollutant  $i$  in snow or soil.

*Enrichment factor (EF<sub>crust</sub>)* [14]:

$$EF_{crust} = \frac{C_{sample}}{C_{crust}}, \quad (3)$$

where  $C_{sample}$  is the concentration of metal in the soil, according to our study;  $C_{crust}$  is the concentration of the metal in the earth's crust (clark concentration) [15].

*Enrichment factor relative to soil clark (EF<sub>soil</sub>)*:

$$EF_{soil} = \frac{C_{sample}}{C_{soil\ clark}}, \quad (4)$$

Element	Interval	Average content	The coefficient of variation	Background content	Pollution index
Zn	63-800	286.2±55.3	72.2	175	1.6
Pb	26-430	158.5±270.2	64.3	42.5	3.7
Cr	59-1200	316.6±88.9	105.13	755	0.4
Mn	400-1800	638.6±92.7	54.4	560	1.1

where  $C_{\text{sample}}$  is the concentration of metal in the soil, according to our study;  $C_{\text{soil clark}}$  – metal concentration in soil (clark concentration) [16].

The coefficient of heavy metal accumulation in soil (Transfer Factor, TF):

$$TF = \frac{C_{\text{soil}}}{C_{\text{snow}}}, \quad (5)$$

where  $C_{\text{soil}}$  is the concentration of heavy metal in the soil;

$C_{\text{snow}}$  is the concentration of heavy metal in snow.

### Results and discussion

According to the result of the analysis of environmental reports of Pavlodar enterprises, the main pollutants emitted by enterprises in the northern industrial zone of Pavlodar were identified. The volume of actual emissions of pollutants into the atmospheric air of the petrochemical plant is 22,275.104 tons, Pavlodarenergo JSC – 35,096.751 tons, CHPP-2 – 6,795.546 tons, CHPP-3 – 28,301.205 tons, KSP «Steel» – 2,837 tons. The main volume of emissions comes from inorganic dust with varying silicon content, abrasive, wood and metal dust. The leaders in dust emissions are CHPP-2, CHPP-3, followed by KSP «Steel». According to the results of the study, the amount of heavy metals emitted in pure form is small, but the content of various elements in dust and ash far exceeds these values. Inorganic dust emitted by the city's thermal power plant contains: fireclay, cement, cement production dust - clay, shale, blast furnace slag, sand, clinker, silica ash, coal ash from Kazakhstan deposits. It should be noted that according to the results of industrial environmental monitoring, none

of the industrial facilities exceeds the standard indicator for emissions of pollutants.

As a result of the laboratory analysis for the content of heavy metals in snow sediment in the city of Pavlodar, the results presented in Table 1 were obtained.

Table 1– Statistical indicators of the content of heavy metals in solid snow sediment in the zone of influence of the energy industry in Pavlodar, mg/kg

Element	Interval	Average content	The coefficient of variation	Background content	Pollution index
Zn	63-800	286.2±55.3	72.2	175	1.6
Pb	26-430	158.5±270.2	64.3	42.5	3.7
Cr	59-1200	316.6±88.9	105.13	755	0.4
Mn	400-1800	638.6±92.7	54.4	560	1.1

The average content of elements in the samples is presented in the following row: Mn (638.6) > Cr (316.6) > Zn (286.2) > Pb (158.5). The minimum concentrations of zinc, lead and chromium were recorded at site 4.5 - to the north and northeast of the ash dumps, which may be due to the prevailing wind direction [14], and the maximum - at site 13, in the zone of influence of the thermal power plant the content was average. The maximum value of lead is noted at site 2, in the zone of influence of the highway, as well as the chemical industry, which also causes a high content of manganese (max – site 3). The maximum value of chromium was confined to the zone of influence of CHPP-3 and the south of the Pavlodar Petrochemical Plant.

Next, the pollution index relative to the background content of the substance was calculated. Snow samples for background indicators were collected more than 50 km away from the city. The sampling area was 500 m from the main road and 1 km from the nearest village. Thus, the background indicators had an anthropogenic impact, but without the direct influence of urban industry. As a result, pollution indices are low and range from 0.4 to 3.7. Lead and zinc have significant excesses of background concentrations, and chromium has the least.

As a result of statistical analysis of the content of heavy metals in the soils of the northern industrial zone, the following results were obtained (table 2).

Table 2 – Statistical data of the content of heavy metals in the soil cover of Pavlodar, mg/kg

Element	Interval	Average content	The coefficient of variation	Background content
Zn	72-300	140.2±69.7	49.69	192.50
Pb	7-22	13.8±4	29.04	13
Cr	85-195	130.6±28.2	21.59	106
Mn	19000-25000	21607.1±91820.6	8.43	20000

The highest content of elements in soil samples is presented in the following row Mn (21607) > Zn (140,2) > Cr (130,6) > Pb (13,8). As for the spatial distribution of heavy metals in the soil, a strong association with the zone of influence of thermal power plants was not observed. The highest concentrations of metals are confined to industrial areas, and the chromium content is higher at site 5, northeast of the ash dumps of the thermal power plant.

To assess soil contamination with heavy metals, ecological and geochemical indicators were calculated (Table 3), characterizing the excess concentration of metals in the soil of this study relative to the clark in the earth's crust (EF<sub>crust</sub>), the clark in the soil (EF<sub>soil</sub>) and the pollution index (PI). The pollution indices relative to the clark content in the Earth's crust and soil are used in this study to determine the level of soil pollution with heavy metals relative to the natural content of these metals.

Table 3 – Indices of heavy metal pollution in the soil of the northern industrial zone

Element	Enrichment factor (EF <sub>crust</sub> )	Enrichment factor (EF <sub>soil</sub> )	Pollution index (PI)
Zn	1.69	2.80	0.73
Pb	0.86	1.38	1.06
Cr	1.57	0.65	1.23

Mn	21.61	25.42	1.08
----	-------	-------	------

According to Sutherland (2000) [15], if the enrichment factor is less than 2, then the soils are considered uncontaminated. In our case, the metals zinc, lead and chromium have a low enrichment relative to clarke in the earth's crust, the enrichment of manganese refers to very high contamination. Regarding clarke in soils, zinc is of average enrichment in the soils of Pavlodar and manganese is also highly contaminated. Despite the high values of the enrichment factor, the pollution indices relative to the background data of our study are low, i.e. the content of heavy metals in soils outside the city is only slightly lower than in urban soils.

As can be seen from the results of the study, manganese predominates in soils in all respects. It is known that the natural content of manganese in soils and plants is very high; in our case, its content in the soil is explained by the alkaline environment of the soil and the presence of carbonates in them. According to some studies, manganese is not considered a soil-polluting metal [17].

To assess the potential impact of heavy metals on human health, the maximum permissible concentration of an element in soil was studied, since there are no separate maximum permissible concentrations for snow cover. Since this study studied solid snow sediment after filtration of melt water, it is possible to use and compare the obtained values with the maximum permissible concentration of heavy metals in the soil. For lead and arsenic, MPCs were used according to the Kazakhstan standard [18], for other metals data from literary sources [19] or Russian GOST [20] were used.

As a result, hazard coefficients were obtained, i.e., the exceeding of MPC indicators in soils by the average values of heavy metal content in solid snow sediment and soils, as well as the coefficient of heavy metal accumulation in soil from snow. It is calculated as the ratio of the concentration of heavy metals in the soil to the concentration in the snow cover (Table 4).

Table 4 – Hazard coefficients and accumulation of heavy metals

Element	MPC of heavy metals in soil	Snow cover hazard coefficient, PImpc	Soil cover hazard coefficient, PImpc	Soil accumulation coefficient, Transfer Factor, TF
---------	-----------------------------------	---	---	--

Zn	55 [20]	5.20	2.55	0.5
Pb	32 [18]	4.95	0.43	2
Cr	100 [19]	3.16	1.31	0.4
Mn	700 [20]	0.91	30.87	34

The highest excess of MPC in snow cover relates to zinc and lead - 5 times, the smallest - to manganese. In the soil cover, the greatest excess of the MPC relates to manganese – 30 times. The content of other metals also exceeds the soil MPC value, except for lead. Thus, the concentrations of heavy metals in snow are much higher than the concentrations in soils and, as a result, have a high excess of the MPC.

To identify the relationship between the content of heavy metals in snow and soil, a correlation analysis was carried out. Among all metals, a correlation within 0.3–0.4 was noted, which indicates that the relationship between these two variables is relatively weak. The content of heavy metals in the soil does not greatly depend on the content of the same metals in the snow cover. For chromium the correlation is negative.

Interesting data is presented by the coefficient of accumulation of heavy metals in the soil. Thus, according to calculations, manganese constantly accumulates in the surface layer of soil in large quantities; it is not washed out or filtered. Zinc and chromium have coefficients of 0.4 and 0.5, their content in the soil is reduced by 2 times compared to snow. The opposite is true for lead; its content in the soil is 11 times less than in the snow cover, which suggests that chromium is washed out from the surface layers of the soil after melting of snow.

To compare the spatial distribution of metals in snow and soil covers, maps of chromium content were compiled (Fig. 2). The maps were compiled using the interpolation method.

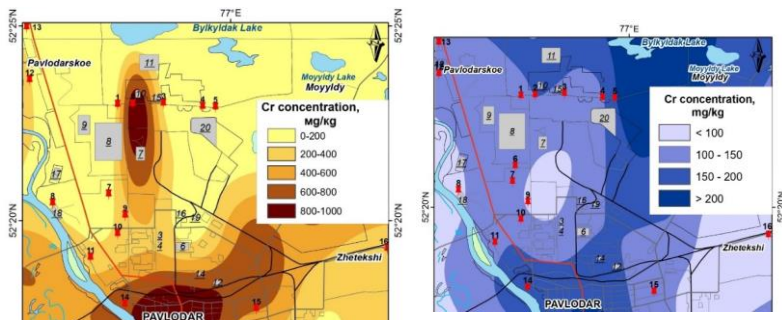


Figure 2 – Spatial distribution of chromium content in urban soils of Pavlodar

Concentrations in snow are much higher than those in soils due to large differences in classes. In the snow, chromium is confined to the Petrochemical Plant and Thermal Power Plant-3 and has the form of concentric areas around these objects. In soils, a smoother distribution of metal is observed with minimal content in the territory of dachas. In most of the northern industrial zone, the chromium concentration ranges from 100 to 150 mg/kg, as well as in the snow cover, most of it corresponds to the class from 0 to 200 mg/kg.

### Funding information

The work was carried out within the framework of the project IRN AP15473194 «Assessment of the accumulation and distribution of microelements in atmospheric precipitation (snow cover), soils and vegetable crops in urbanized areas of Pavlodar» with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

### Conclusions

In the city of Pavlodar, in the northern industrial zone, studies of the content of heavy metals in snow and soil covers were carried out and the coefficients of pollution and accumulation of metals in depositing environments were calculated. The northern industrial zone is of interest as it is within the influence zone of two major thermal power plants in the city, and the identification of the pollution level of this area is the goal of this study. As a result, it was revealed that the highest concentrations of zinc, lead and chromium metals were found in the snow cover (maximum lead – 11 times more), manganese in the soil (34 times more than in snow). Despite the high content of heavy metals, it was revealed that the pollution indices have low values, which is due to low background

values. The exception is lead in snow, the excess of which in the city is 3.7 times. However, when determining the hazard coefficient relative to the maximum permissible concentration, all metals in all environments demonstrate an excess of the MPC, except for manganese (0.91) in snow and lead (0.43) in soil. These results highlight the importance of controlling and monitoring heavy metal pollution and the need to take measures to reduce anthropogenic impacts on the natural environment.

The accumulation of heavy metals in soil is a complex problem that requires interdisciplinary research to fully understand its consequences. By studying patterns of accumulation, distribution, and exposure of heavy metals in different environments, researchers can gain valuable information to develop strategies to reduce the risks associated with heavy metal pollution.

## REFERENCES

1 **Bakhtiyorova, N. B., Suleimenova, B. M.** The impact of emissions from thermal power plants on the environment and public health // Theory and practice of modern science. – 2016. – №4(10). – P. 110-113. [in Russian]

2 **Pan, Yuepeng & Wang, Yuesi.** Atmospheric wet and dry deposition of trace elements at ten sites in Northern China // Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. – 2014. – 14. <https://doi.org/10.5194/acpd-14-20647-2014>.

3 **Moskovchenko, D. R., Minkina, T., Sushkova, S., Pozhitkov.** Trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the snow cover of the city of Nizhnevartovsk (Russia). – 2022. 10.21203/rs.3.rs-2064341/v1.

4 **Vijayan, A.H., Marsalek, J., Viklander, Österlund, M.** Laboratory melting of late-winter urban snow samples: the magnitude and dynamics of releases of heavy metals and pahs // Water Air & Soil Pollution. – 2019. – 230(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4201-2>.

5 **Yakovlev, E.A., Zykova, E., Zikov, S., Ivanchenko, Druzhinina, N.** Assessment of heavy metal pollution of the snow cover of the Severodvinsk industrial district (Russia, the Arkhangelsk region). – 2022. – 8. – P. 1274-1293. <https://doi.org/10.22059/POLL.2022.341500.1438>.

6 **Hu, Y., You, M., Liu, G., Dong, Zh.** Characteristics and Potential Ecological Risks of Heavy Metal Pollution in Surface Soil Around Coal-fired Power Plant. 10.21203/rs.3.rs-554137/v1.



7 **Huang, X., Hu, J., Qin, F., Quan, W., Cao, R., Fan, M., Wu, X.** Heavy Metal Pollution and Ecological Assessment around the Jinsha Coal-Fired Power Plant (China) // *Int J Environ Res Public Health*. – 2017. – 14(12). P. 1589. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph14121589>. PMID: 29258250; PMCID: PMC5751006.

8 **Che, K., Chen, C.M., Zheng, Q.Y., Fan, H., Wei, M.L., Luo, P., Yu, J.X.** Heavy Metal Emissions from Coal-fired Power Plants and Heavy Metal Pollution Characteristics and Health Risks in Surrounding Soils. – 2022. – 43(10). P. 4578-4589. <https://doi.org/10.13227/j.hjhx.202201032>. PMID: 36224143.

9 **Safarov, R.** Spatial distribution of pm2.5 and pm10 pollutants in residential area of Pavlodar, Kazakhstan // *Series Chemistry and Technology*. – 2023. – 4(457). – P. 181–200.

10 **Kaliyeva, A. M., Sergazinova, Z., Toleuzhanova, A., Taskarin, A., Kabdolla.** The assessment of the level of environmental pollution at the solid waste landfill of Kazecoprom llp (Pavlodar, Republic of Kazakhstan) // *Samara Journal of Science*. – 2022. – 11(2). – P. 65–72.

11 Methodological recommendations for assessing the degree of atmospheric air pollution in populated areas by metals based on their content in snow cover and soil. – Moscow.: IMGRE, 1990. – P. 15. [in Russian].

12 **Vasilenko, V. N.** Monitoring of snow cover pollution / V. N. Vasilenko, I.M. Nazarov, Sh.D. Fridman et al. – L. : Gidrometeoizdat, 1985. – 182 p. [in Russian].

13 **Faurat, A. A., Azhaev, G. S., Shakenov, E. Z.** Content of heavy metals in the snow cover of the eastern industrial zone of Pavlodar // *Bulletin of the National Nuclear Center*. – 2023. – No. 3. – P. 13–24 <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-13-24>. [in Russian].

14 **Sutherland, R. A.** Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii // *Environmental Geology*. – 2000. – 39. P. 611–627.

15 **Vinogradov, A. P.** Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust // *Geochemistry*. – 1962. – 7. – P. 555–571. [in Russian].

16 **Geldymamedova, E. A.** Heavy metals in soils of Pavlodar, Republic of Kazakhstan : dissertation of a candidate of biological sciences: 03.00.16 – Pavlodar, 2007. [in Russian].

17 **Barmin, A. V., Kenzhetaev, G. Zh., Aitimova, A. M., Zhidebaeva, A. E., Valov, M. V.** Assessment of the geoecological state of soils in Kazakhstan in the areas of carbonate deposits. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.03>. [in Russian].

18 On approval of hygienic standards for the safety of the living environment. Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated April 21, 2021.” <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595>. (in Russian).

19 **Azhaev, G. S.** Assessment of the ecological state of the city of Pavlodar according to geochemical studies of liquid and dust atmospheric fallout : dissertation of a candidate of geological and mineralogical sciences: 25.00.36. – Pavlodar, 2007. – 111 p. [in Russian]

20 Hygienic standards GN 2.1.7.2041-06. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in soil. <https://files.strovinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm>. (in Russian).

Received 27.04.24.

Received in revised form 30.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

*\*А. А. Фаурат, А. Б. Токтарбекова*

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

27.04.24 ж. баспаға түсті.

30.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **ПАВЛОДАР ҚАЛАСЫНДА ҚАР МЕН ТОПЫРАҚТЫҢ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУЫНА ӨНЕРКӘСІПТІҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ**

*Мақалада жылу электр станциялары мен мұнай-химия, металлургия өнеркәсібі объектілерінің әсер ету аймағындағы қар мен топырақ жамылғысының ауыр металдармен (мырыш, қорғасын, хром және марганец) ластануы зерттеледі. Қар мен топыраққа антропогендік әсерді бағалау үшін әртүрлі индекстер*

мен коэффициенттерді қолдана отырып ауыр элементтердің құрамына талдау жасалды. Пайдаланылды: ластану индексі, кларкқа қатысты байыту факторы эсер қыртысындағы және топырақтағы металл концентрациясы, қауіптілік коэффициенті (ШПК-дан асып кету), сондай-ақ топырақта қардан ауыр металдардың жиналу коэффициенті. Топырақ пен қарда химиялық элементтердің жиналуы мен таралуының негізгі заңдылықтары анықталды. Зерттеу барысында ауыр металдардың орташа мөлшері бойынша қардың қатты фракциясында және топырақта марганец басым екені анықталды. Топырақ жамылғысында ШПК-ның ең көп мөлшері марганецке жатады – 30 есе. Қалған металдардың құрамы қорғасынды қоспағанда, топырақтың ШПК мәнінен асып түседі. Әр түрлі учаскелердегі металл құрамының айтарлықтай ауытқуы желдің бағыттары, жауын-шашын және басқа да өнеркәсіптік кәсіпорындардың болуы сияқты әртүрлі факторлардың әсерін көрсетеді.

*Кілтті сөздер:* ауыр металдар, өндірістік аймақ, қар жамылғысы, қалалық топырақ, ластану индексі.

\*А. А. Фаурат, А. Б. Токтарбекова

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Поступило в редакцию 27.04.24.

Поступило с исправлениями 30.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕГА И ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В Г. ПАВЛОДАР**

*В статье исследуется загрязнение почв тяжелыми металлами (цинк, свинец, хром и марганец) снежного и почвенного покрова в зоне влияния ТЭЦ и объектов нефтехимической, металлургической промышленности. Для оценки антропогенного влияния на деponирующие среды была проведен анализ содержания тяжелых элементов с применением различных индексов и коэффициентов.*

*Были использованы: индекс загрязнения, фактор обогащения относительно кларка концентрации металла в земной коре и в почвах, коэффициент опасности (превышение ПДК), а также адаптированный коэффициент накопления тяжелых металлов в почве относительно содержания в снегу. Выявлены основные закономерности накопления и распределения химических элементов в почве и снегу. В ходе исследования было установлено, что по среднему содержанию тяжелых металлов в твердом осадке снега и почвах преобладает марганец. Наименьшие значения в снегу показывает свинец. В почвенном покрове наибольшее превышение ПДК относится к марганцу - в 30 раз. Содержание остальных металлов также превышает значение ПДК почв, за исключением свинца. Значительные колебания содержания металлов на разных участках указывают на влияние различных факторов, таких как направления ветра, осадки и наличие других промышленных предприятий.*

*Ключевые слова: тяжелые металлы, промышленная зона, снежный покров, городские почвы, индекс загрязнения.*

МРНТИ 44.29.01:50.47.02

<https://doi.org/10.48081/YRLV5945>

**\*К. С. Шоланов<sup>1</sup>, Г. С. Токишева<sup>1</sup>, А. С. Омаров<sup>2</sup>,  
Н. М. Кашкимбаева<sup>1</sup>, Ж. Р. Исаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет  
имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет имени А. Сагинова<sup>2</sup>  
Республика Казахстан, г. Караганда

\*e-mail: [sholkor@gmail.ru](mailto:sholkor@gmail.ru)

## **ФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРУСНЫХ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*В статье рассматривается новый вид малой ветровой электростанции – автоматическая парусная ветровая электростанция (ПВЭС), которая может функционировать в большом диапазоне скоростей ветра, начиная от 2.5 м/с и выше независимо от изменения направления и скорости ветра.*

*Эта ПВЭС используют новую технологию преобразования энергии ветра в электрическую энергию, отличающуюся тем, что воспринимает одновременно силы сопротивления и подъемные силы, действующие на парус, независимо от изменения направления ветра. Для реализации этой технологии используется конструкция ПВЭС составленная из качающихся мачты и паруса, с аэродинамическим профилем сечения, установленных на платформе шестиподвижного параллельного манипулятора SHOLKOR, составленного из шести актуаторов.*

*Совершенство конструкции ПВЭС во многом определяется адекватностью используемых исходных данных, среди которых следует выделить характеристики скорости и направления ветра на заданной высоте. В данной статье предлагается методология определения характеристики ветра путем экспериментального ежесекундного исследования, формирование базы данных и*

*обработка данных методом искусственного интеллекта. Полученные закономерности изменения характеристик ветра могут быть использованы при расчете, а также для определения емкости и выбора аккумуляторов автономной ПВЭС.*

*Ключевые слова: парусная ветровая электростанция, проектирование, кадастр ветров, характеристики ветра, емкость аккумулятора.*

## **Введение**

В настоящее время экологическая ситуация в мире, связанная с глобальным потеплением связанным с выбросом парниковых газов, приводит к необходимости замены органического топлива возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Одним из ВИЭ является энергия ветра, которая может быть преобразована в другие виды энергии, приблизительно мощностью  $1,26 \times 10^9$  МВт [1]. Так как это значение в 20 раз превышает глобальное потребление энергии, то энергия ветра в принципе может удовлетворить все энергетические потребности мира. В связи с этим является актуальным вопрос преобразования энергии ветра в электрическую энергию с применением парусных ветровых электростанций и совершенствование методов их проектирования.

## **Материалы и методы**

Описание парусной ветровой электростанций.

Анализ исследований в области ветроэнергетики показывает, что они в основном направлены на совершенствование турбинных ветровых электростанций (ТВЭС) и предусматривают в большинстве решение следующих проблем: оптимизацию преобразовании энергии ветра, например, путем: демпфирования энергоколебаний в системе [2; 3]; мониторинга окружающих условий и работоспособности ТВЭС, использования больших данных, модернизацией систем управления, например, используя контроллеры на основе наблюдателей возмущений [4]; исследованием аэродинамики лопастей [5]. Однако для обеих видов ТВЭС (с горизонтальной и вертикальной осью) проблемой является непредсказуемость ветра, скорости и силы порывов ветра, часто изменяющиеся в короткие отрезки времени, а также то, что нижняя границей диапазона скоростей ветра, при котором функционируют с

номинальной мощностью ТВЭС, как правило, достаточно высока - более 10 м/с при максимальном КПД равном 0.3 [6–7]. Одним из направлений в развитии ветровой энергетики в последнее время являются автоматически управляемые малые парусные ветровые электростанции, предложенные в работах [8; 9; 10].

Эти ПВЭС используют новую технологию преобразования энергии ветра в электрическую энергию. Для реализации этой технологии применяется качающийся в пространстве (как обратный маятник) парус с аэродинамическим профилем воспринимающий одновременно силы сопротивления и подъема от действия ветра, независимо от его направления, а также манипуляторный преобразователь (МП), составленный из параллельного манипулятора Sholkor [9]. МП, благодаря своей топологии и конструкции преобразует энергию пространственного движения под действием ветра рабочего органа (РО), составленного из паруса, мачты и верхней платформы манипулятора в электрическую энергию. Это становится возможным благодаря тому, что конструкция манипулятора состоит из шести актуаторов, соединяющих верхнюю платформу с основанием (нижней платформой). Каждый актуатор составлен из полуактивной демпферной системы, системы отбора мощности и генератора электрического тока. Проведенные исследования показывают, что малые автоматические ПВЭС (мощностью 1–10 кВт) могут автономно генерировать электрическую энергию при изменении скоростей ветра в большом диапазоне, начиная от 2.5 м/с и выше, независимо от направления ветра. Эта особенность ПВЭС позволяет расширить географию и область применения ветровой энергетики. В этой связи в статье рассматриваются возможности дальнейшего совершенствования ПВЭС.

Предлагается методология эксперимента по определению характеристик ветра основанная на математической теории эксперимента для выбора адекватных характеристик ветра при проектировании ПВЭС. Она заключается в том, что производится математическое планирование эксперимента при котором с применением методов искусственного интеллекта и математического аппарата устанавливается прогнозируемая на актуаторах нагрузка.

Эта нагрузка является исходной при проектировании ПВЭС.

Конструкция ПВЭС состоит из МП с топологией параллельного манипулятора Sholkoг и рабочего органа. Рабочий орган состоит из паруса (парусов) 1 (Рис.1) в виде зонта с аэродинамическим профилем сечения а также из мачты 2 и верхней платформой параллельного манипулятора 3. Верхняя подвижная платформа 3 и основание 4 (нижняя платформа) манипулятора связаны шестью актуаторами 5 со встроенными генераторами посредством многосвязных соединений. Во время движения паруса под действием ветра вырабатывается электрический ток, который фиксируется блоком микроамперметров 6.

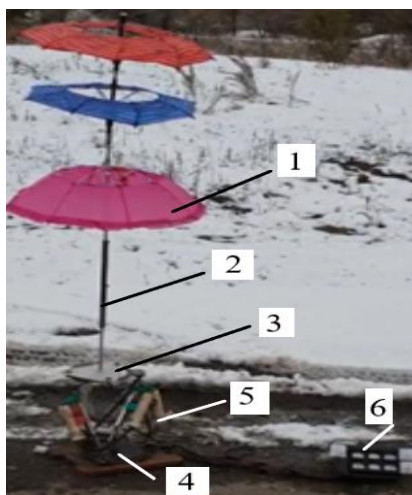


Рисунок 1 – Действующая лабораторная модель

При автоматическом управления парусностью зонт раскрывается и складывается в виде веера изменяя автоматически площадь соприкосновения с воздушным потоком в зависимости от скорости ветра. Актуаторы МП обеспечивают функционирование ПВЭС и являются непосредственными преобразователями механической энергии РО в электрическую энергию. В этой связи эффективность работы ПВЭС во многом зависит от конструкции актуатора. Актуатор состоит из трех узлов: полуактивной пружинно-демпферной подвески (ПДП), системы отбора мощности (СОМ) и генератора электрического тока. Введение в конструкции актуаторов полуактивных ПДП имеет целью обеспечить



стабильное функционирование ПВЭС вне зависимости от изменения скорости и направления ветра. В дальнейшем в автоматически управляемой системе генерирования производится обработка, преобразование, хранение и подача электрической энергии требуемой мощности потребителю.

### **Результаты и обсуждение**

Анализ ветровой ситуации в местах установки ветроэлектростанций.

Как указывалось выше, при проектировании ПВЭС и актуаторов в частности важно правильно сформировать исходные данные по характеристикам ветра. В этой связи ниже рассматривается этап формирования базы данных по скорости и направлению ветра путем ежесекундного измерений с помощью приборов. Такие измерения ветровой ситуации необходимо проводить предварительно в местах предполагаемой установки ветроэлектростанции ВЭС [10].

В качестве приборов для измерения выбраны чашечный анемометр ТМ-710-МС и флюгер ТМ-610-ММ установленные на высоте 14 м., которые через аналоговые входы А0 и А1 подключены к плато Arduino Mega, отвечающей за получение, обработку и формирование базы данных в Excel. В результате проведенных исследований создана база данных изменения скорости и направления ветра вблизи города Караганда (РК) в октябре, ноябре месяце 2023 г [11]. На рис 2, а,б приведены фрагменты диаграммы ежесекундного изменения в течении одной минуты случайных по величине скорости и направления ветра. Диаграммы показывают значительную динамику изменения характеристик ветра с течением времени. Так, например, на диаграмме (Рис. 2,б) можно наблюдать изменение направления ветра на противоположное за короткий промежуток времени. Для получения определенной закономерности, из полученной базы данных (можно рассматривать любую другую базу данных) с помощью программы Python, используя библиотеки для работы с данными формируется самообучающаяся нейронная сеть. В начале подключаются различные инструменты, такие как Pandas для работы с данными, Scikit-learn для машинного обучения и Keras для создания нейронных сетей.

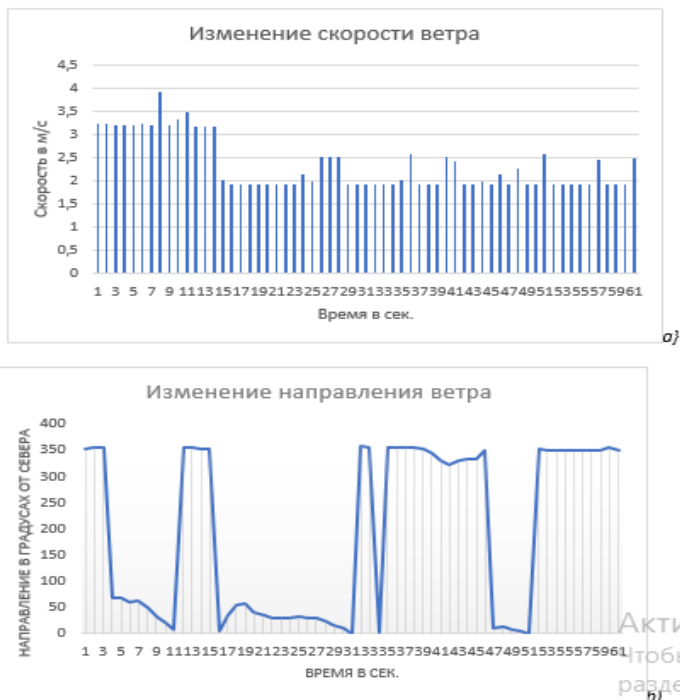


Рисунок 2 – Диаграммы ежесекундного изменения характеристик ветра

Далее производится выборка характеристик из исходной базы для следующих 4-х диапазонов скоростей в м/с: [0-5], [до 10], [до 15], [свыше 15]. При этом одновременно формируются данные по направлению ветра в градусах от севера, соответствующие выбранным скоростям и суткам. Для каждого из диапазонов выполняется подготовка данных, т.е. данные разделяются на входные переменные (скорость и направление) и выходные переменные (скорость и направление), которую мы хотим предсказать с помощью нейросетей.

Для решения поставленной задачи использован методы глубокого обучения. В результате создана самообучающаяся нейронная сеть, архитектура которой была построена с использованием библиотеки TensorFlow и её встроенной модули Keras. Входные данные для обучения были извлечены из исходных данных, хранящихся в Excel-файле, и подвергнуты предобработке. В частности, данные были нормализованы с

помощью стандартного масштабирования (StandardScaler) из библиотеки Scikit-learn. Архитектура нейронной сети включала в себя три слоя. Первый слой - это входной слой, содержащий два нейрона, соответствующих двум входным признакам. Последовательно за ним шёл скрытый слой, содержащий 64 нейрона с функцией активации ReLU (Rectified Linear Unit). Выбор количества нейронов в скрытом слое был обусловлен эмпирическими соображениями и результатами предварительных экспериментов. Завершал архитектуру нейронной сети выходной слой, состоящий из двух нейронов с линейной функцией активации. Обучение нейронной сети проводилось с использованием алгоритма Адама (Adam optimizer) и функции потерь среднеквадратичного отклонения (Mean Squared Error, MSE). Обучение велось в течение 50 эпох с размером пакета (batch size) равным 16. После обучения нейронная сеть была применена для генераций на тестовом наборе данных. Результаты были сохранены в Excel-файл для последующего применения при проектировании ПВЭС. Полученная программа используется для предсказания направления и скорости движения на каждом из 4-х диапазонов изменения скорости ветра. В таблице 1 приведены некоторые фрагменты предсказанных данных по скорости и направлению для диапазона скорости [0-5] м/с в течении 1 минуты измеренные через 5 секунд.

Таблица 1 – Фрагменты данных по скорости и направлению

№ п/п	Время, с.	Скорость м/с (прогноз)	Направление в град от севера (прогноз)	№ п/п	Время, с.	Скорость м/с (прогноз)	Направление в град от севера (прогноз)
1	0	2,07	207,5	8	35	2,0	37,2
2	5	1,9	16,1	9	40	3,5	35,4
3	10	2,1	332,8	10	45	1,9	29,1
4	15	2,3	338,0	11	50	2,4	332,1
5	20	2,3	49,8	12	55	1,9	9,7
6	25	2,0	100,9	13	60	1,9	41,0
7	30	1,9	46,3				

Предсказанные значения сохраняются в файл Excel вместе с соответствующими направлениями представляют собой выявленную закономерность изменения скорости и направления ветра при изменении скорости ветра в диапазоне [0-5] м/с. Эти закономерности могут быть использованы при проектировании ветровых электростанций, а также при

использовании кадастра ветров в месте предполагаемой установки ВЭС. Также на основе анализа прогнозируемого значения скорости ветра в течении суток с помощью программных средств Python могут быть выделены штильные интервалы времени, когда скорость ветра менее минимального значения (2,5 м/с для ПВЭС) и энергетические интервалы времени, когда скорость ветра более установленного времени. За минимальную скорость принимается скорость ветра на заданной высоте, при котором ПВЭС вырабатывает энергию номинальной мощности. В штильные промежутки времени питание потребителя производится от аккумуляторов и продолжительность этого периода используется для выбора емкости аккумуляторов или других резервирующих устройств на стадии проектирования ПВЭС. При этом принято, что для ПВЭС минимальная скорость при которой вырабатывается электроэнергия номинальной мощности равна 2,5 м/с. Исходными данными для вычисления в этом случае является база данных по прогнозируемой скорости ветра. Эта база формируется по данным наиболее безветренного состояния погоды. По запросу программы вводится минимальная скорость ветра и программа выбирает наиболее продолжительное штильное время, при котором скорость ветра меньше установленного значения. На основании проведенных измерений с помощью программы Python и обучением нейросети установлена закономерность изменения скорости ветра и сформирована база данных. В качестве примера на рис.3 показана диаграмма, построенная в программе Python на основе анализа прогнозируемой скорости ветра, с применением, которых получена продолжительность штильного времени  $T = 234,95$  мин. На диаграмме (Рис.4) по оси абсцисс отложено время измерения скорости ветра при  $k = 1000$ . Красная линия показывает выбранное граничное значение скорости ветра. Желтым цветом выделена зона самого продолжительного штильного времени, равной  $T = 234,95$  мин.

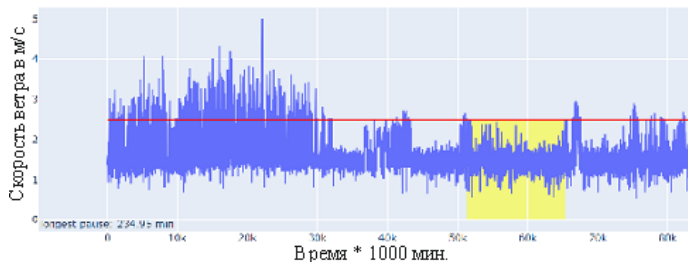


Рисунок 3 – Диаграмма изменения скорости ветра с выявленным штильным временем

В качестве примера определим количество аккумуляторов необходимое для оснащения автономной ПВЭС мощностью  $N=5$  кВт. Выбираем свинцово-кислотный герметизированный аккумулятор типа AGM напряжением  $v=24$ В. Принимаем штильное время равным  $T=4$  час., КПД аккумулятора -  $\eta=0,85$ . Определим требуемую емкость аккумулятора для обеспечения электроэнергией потребителя

$$C = \frac{N \cdot T}{V \cdot \eta} = 1470,6 \text{ Ач.}$$

Следовательно, можно выбрать для ПВЭС 8 аккумуляторов отечественного производства «Mutlu 190 (1D5.190.125.A, левый+)».

### **Информация о финансировании**

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP14869386 «Исследование, разработка совокупности конструкций и создание экспериментального образца автоматически управляемой парусной ветровой электростанции с качающимся рабочим органом», финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

### **Выводы**

Для использования адекватных данных при проектировании ПВЭС на основе кадастра ветров использовалась методология эксперимента, основанная на результатах ежесекундного измерения скорости и направления ветра и последующего формирования базы данных для различных диапазонов изменения скорости ветра. С тем, чтобы установить

и применить закономерности в изменении характеристик ветра выбран метод искусственного интеллекта (МИИ) для предсказания скорости и направления ветра в любой заданный промежуток времени для каждого из диапазонов. Эти данные, предсказанные с помощью МИИ, предлагается использовать при проектировании ПВЭС, а также использовать для определения самого продолжительного штильного времени и выбора необходимой емкости аккумуляторов, обеспечивающих автономное функционирование ПВЭС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

**1 Tong, W.** Fundamentals of wind energy // WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering. – 2010. – Vol 44. – P. 3–48. <https://doi.org/10.2495/978-1-84564-205-1/01>.

**2 Sutherland, H. J., Berg, D. E., Ashwill, T. D.** A retrospective of VAWT technology // SAND 2012, Sandia National Laboratories, California.

**3 Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro.** Power Converters in Wind Energy Conversion Systems // Book Chapter, Publisher IEEE. – 2012.

**4 Anup, K. C., Whale, J., Urmee, T.** Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment // A review, Renewable energy. – 2019. – Vol. 131. – P. 268-283.

**5 Bhutta, M. M. A., Hayat, N., Farooq Ali A. U. Z., Jamil, S. R., Hussain, Z.** Vertical axis wind turbine—A review of various configurations and design techniques // Renewable and Sustainable Energy Rev. – 2012. – Vol. 4. – No. 16. – P. 1926- 1939, 10.1016/j.rser.2011.12.004

**6 Gao, C., Liu, H., Jiang, H., Li, Y. Tang, X.** Research on the sub-synchronous oscillation in wind power connected to series compensated power system and its influencing factors // CES Transactions on Electrical Machines and Systems. – 2017. – Vol. 1. – No 3. – P. 334–340

**7 Canizo, M., Onieva, E., Conde, A., Charramendieta, S., Trujillo, S.** Real-time predictive maintenance for wind turbines using Big Data frameworks // International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM) –

Dallas: IEEE. – 2017. – P.70–77.  
<https://doi.org/10.1109/ICPHM.2017.7998308>.

**8 Sholanov, K., Omarov, A., Ceccarelli, M.** Improving efficiency of converting wind energy in modified sail wind power station // International Journal of Mechanics and Control. – 2022. – Vol. 23, No 02. – P. 101–10.

**9 Sholanov, K. S.** Parallel Manipulators of Robots: Theory and Applications. – Springer, 2020. – P. 164 – <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56073-77>

**10 Nguyen, H. M., Naidu, D. S.** Advanced control strategies for wind energy systems: An overview. In Proceedings of the 2011 // IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, Phoenix, AZ, USA. – 2011. – P. 1–8.

**11 Bengio, Y.** Learning deep architectures for AI. – Foundations and trends in Machine Learning 2009. – P. 1–127.

Поступило в редакцию 27.03.24

Поступило с исправлениями 29.04.24

Принято в печать 02.06.24

\*К. С. Шоланов<sup>1</sup>, Г. С. Токишева<sup>1</sup>, А. С. Омаров<sup>2</sup>,  
Н. М. Кашикмбаева<sup>1</sup>, Ж. Р. Исаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

А. Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

27.03.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫҢ ЖОБАЛАУҒА МӘЛІМЕТТЕРДІ ӨЗІРЛЕУ

*Мақалада шағын жел электр станциясының жаңа түрі – жел жылдамдығының бағытының өзгеруіне қарамастан 2.5 м/с және одан жоғары жел жылдамдығының үлкен диапазонында жұмыс*

*істей алатын автоматты желкенді жел электр станциясы (ПВЭС) қарастырылады.*

*Бұл ПВЭС жел энергиясын электр энергиясына айналдырудың жаңа технологиясын қолданады, ол жел бағытының өзгеруіне қарамастан желкенге әсер ететін қарсылық күштері мен көтергіш күштерді бір уақытта қабылдаумен ерекшеленеді. Бұл технологты іске асыру үшін алты актуатордан тұратын SHOLKOR алты қозғалмалы параллель манипуляторының платформасында орнатылған аэродинамикалық қима профилі бар тербелмелі діңгектер мен желкендерден тұратын ПВЭС конструкциясы пайдаланылады.*

*ПВЭС конструкциясының жетілдірілуі көбінесе пайдаланылатын бастапқы деректердің барабарлығымен анықталады, олардың арасында берілген биіктіктегі желдің жылдамдығы мен бағытының сипаттамаларын бөліп көрсету керек. Бұл мақалада эксперименттік секундтық зерттеу арқылы желдің сипаттамасын анықтау әдістемесі, мәліметтер базасын құру және жасанды интеллект әдісімен деректерді өңдеу ұсынылады. Жел сипаттамаларының өзгеруінің алынған заңдылықтарын есептеу кезінде, сондай-ақ автономды ПВЭС батареяларының сыйымдылығы мен таңдауын анықтау үшін пайдалануға болады.*

*Кілтті сөздер: желкенді жел электр станциясы, жобалау, жел кадастры, жел сипаттамалары, батарея сыйымдылығы.*

*\*K. S. Sholanov<sup>1</sup>, G. S. Tokisheva<sup>1</sup>, A. S. Omarov<sup>2</sup>,*

*N. M. Kashkimbayeva<sup>1</sup>, J. R. Isaeva<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Kazakh agrotechnical research university named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana;*

*<sup>2</sup>Karaganda Technical University named after A. Saginov, Republic of Kazakhstan, Karaganda.*

*Received 27.03.24.*

*Received in revised form 29.04.24.*

*Accepted for publication 02.06.24.*



## GENERATING DATA FOR THE DESIGN OF SAILING WIND POWER PLANT

*The article will consider a new type of small wind power plant – an automatic sailing wind power plant, which can operate in a large range of wind speeds of 2.5 m/s and above, regardless of changes in the direction of wind speed.*

*This sailing wind power plant uses a new technology for converting wind energy into electricity, which is distinguished by the simultaneous perception of resistance forces and lifting forces acting on the sail, regardless of the change in wind direction. To implement this technology, the design of the sailing wind power plant, consisting of oscillating masts and sails with an aerodynamic cross-section profile, installed on the platform of the six movable parallel manipulators SHOLKOR, consisting of six actuators, is used.*

*The perfection of the design of the sailing wind power plant is largely determined by the adequacy of the initial data used, among which it is necessary to highlight the characteristics of the speed and direction of the wind at a given altitude. This article presents the methodology for determining the characteristics of the wind by experimental second study, the creation of a database and data processing by the method of artificial intelligence. The obtained patterns of changes in wind characteristics can be used in the calculation, as well as to determine the capacity and choice of autonomous sailing wind power plant batteries.*

*Keywords: sailing wind power plant, design, wind inventory, wind characteristics, battery capacity.*

**АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ**

**Абжекеева Айжан Зейнолгабиденовна**, оқытушы, Торайғыров университет, Павлодар қ., 140000, Республика Қазақстан, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Аканова Акерке Сапаровна**, PhD, аға оқытушы, компьютерлік ғылымдар кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akerkegansaj@mail.ru](mailto:akerkegansaj@mail.ru)

**Анарбекова Галия Абаевна**, докторант, компьютерлік ғылымдар кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [galiya2810@mail.ru](mailto:galiya2810@mail.ru)

**Азаматов Мурат Токтарбекович**, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша докторант, Торайғыров университет», Энергетика факультеті, Павлодар қ. 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [muratazama-tov@mail.ru](mailto:muratazama-tov@mail.ru)

**Асқарова Алия Садыбаевна**, Физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан, физика-техникалық факультеті, жылу физика және техникалық физика кафедрасы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Aliya.Askarova@kaznu.kz](mailto:Aliya.Askarova@kaznu.kz)

**Арипова Назгуль Михайловна**, Жылуэнергетика кафедрасы, докторанты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nazgul\\_2010@mail.ru](mailto:nazgul_2010@mail.ru)

**Ануарбеков Максат Арғанатович**, «Жылу энергетика» мамандығы. докторант, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [maxatanuarbekov@gmail.com](mailto:maxatanuarbekov@gmail.com)

**Алькина Әлия Дәулетханқызы**, аға оқытушысы, магистр, Қарағанды қ. Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университет, 100000, e-mail: [alika\\_1308@mail.ru](mailto:alika_1308@mail.ru)

**Алибекқызы Карлыгаш**, АТЖЗЖМ, PhD, философия докторы, қауымд. профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан Техникалық университет, Өскемен қ, 070016, Қазақстан Республикасы, e-mail: [karlygash.eleusizova@mail.ru](mailto:karlygash.eleusizova@mail.ru)

**Айтуғанова Айша Меңлібайқызы**, педагогика ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mag\\_zhan97@mail.ru](mailto:mag_zhan97@mail.ru)

**Әбдіматова Толқын Досалықызы**, оқытушы, АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы», Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: [t.abdimatova@agakaz.kz](mailto:t.abdimatova@agakaz.kz)

**Атякшева Александра Владимировна**, PhD, қауымд. профессор, энергетика факультеті, Сейфуллин атындағы ҚазАТУ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sahsa77@mail.ru](mailto:sahsa77@mail.ru)

**Айтмагамбетова Маралгуль Борамбаевна**, D098 «Жылуэнергетика» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, энергетика факультеті, Сейфуллин атындағы ҚазАТУ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aiti.mb@yandex.kz](mailto:aiti.mb@yandex.kz)

**Балходжаева Гүлайым Раушанбекқызы**, техника ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [gulayim\\_2012@mail.ru](mailto:gulayim_2012@mail.ru)

**Балғынбек Тұрдыбек**, аға ғылыми қызметкер, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Зерттеу Университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [balgyn.bek.2018@gmail.com](mailto:balgyn.bek.2018@gmail.com)

**Баймаханова Зейнегүл Айдарқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zina-1965@mail.ru](mailto:zina-1965@mail.ru)

**Бөлегенова Салтанат Алихановна**, Физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, жылу физика және техникалық физика кафедрасы, физика-техникалық факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz](mailto:Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz)

**Бекболатова Жаннат Кайырқызы**, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Қ. И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті (ҚазҰТУ), Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [z.bekbolatova@satbayev.university](mailto:z.bekbolatova@satbayev.university)

**Бергузинов Асхат Нұрланович**, PhD, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [askhat\\_berguzinov@mail.ru](mailto:askhat_berguzinov@mail.ru)

**Бекенова Дариға Бекенқызы**, Магистр, оқытушысы, Туран университеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Dariyba@mail.ru](mailto:Dariyba@mail.ru)

**Белошицкая Светлана Васильевна**, техника ғылымдарының докторы, доцент, Есептеу және деректер туралы ғылым департаментінің профессоры, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bsv@astanait.edu.kz](mailto:bsv@astanait.edu.kz)

**Герасименко Татьяна Сергеевна**, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [melary-5@mail.ru](mailto:melary-5@mail.ru)

**Даутбеков Мерхат Курметович**, PhD, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан Техникалық университет, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [merkhatd@gmail.com](mailto:merkhatd@gmail.com)

**Даутова Айгуль Зейнуллиновна**, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aigul67\\_03@mail.ru](mailto:aigul67_03@mail.ru)

**Дюсенгазина Назым Нигметоллаевна**, «Информатика» мамандығы бойынша магистр, аға оқытушы, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [d-no@inbox.ru](mailto:d-no@inbox.ru)

**Есет Гүлдана Маратқызы**, «Электр энергетика» мамандығы бойынша магистрант, «Жаңғыртылатын және баламалы энергия көздері» кафедрасы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [yessetguldanam@gmail.com](mailto:yessetguldanam@gmail.com)

**Есмаханова Лаура Нурлановна**, PhD, автоматтандыру және телекоммуникация кафедрасы, Технологиялық факультеті, М. Х. Дулати атындағы Тараз аймақтық университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [laura060780@mail.ru](mailto:laura060780@mail.ru)

**Жансерікқызы Ақнұр**, техника ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық

институты, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhanserikkvzy@mail.ru](mailto:zhanserikkvzy@mail.ru)

**Жалмағамбетова Ұлтуар Қайырболатқызы**, PhD, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, қауымд. профессоры, «Энергетика», факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ultuara@mail.ru](mailto:ultuara@mail.ru)

**Жолдыбаева Анель Нұрланқызы**, 6M071700 «Жылуэнергетика» білім беру бағдарламасы, 2 курс, магистрант, көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [anel1406@mail.ru](mailto:anel1406@mail.ru)

**Жүрерова Лайла Ғылыммеденовна**, PhD, аға ғылыми қызметкер, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [leila\\_uka@mail.ru](mailto:leila_uka@mail.ru)

**Жүнісов Жандос Торғайбайұлы**, «Электр энергетикасы (Жанартпалы энергетика)» мамандығы бойынша магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [jandos.junusov@gmail.com](mailto:jandos.junusov@gmail.com)

**Исенов Жанат Сансызбаевич**, «Электроэнергетика» кафедрасы, докторанты, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [issenov.zh@gmail.com](mailto:issenov.zh@gmail.com)

**Исаева Жазира Рахатдиновна**, PhD, «Электрмен жабдықтау» кафедрасы, аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Zhozi\\_maggi@mail.ru](mailto:Zhozi_maggi@mail.ru)

**Имангазинова Динара Кенжетасевна**, «Электр энергетика» кафедрасы, докторанты, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы. e-mail: [dinaraigul@mail.ru](mailto:dinaraigul@mail.ru).

**Карманов Амангельды Ерболович**, PhD, «Жылуэнергетика» кафедрасы, меңгеруші, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Қасым Руслан Токтасынұлы**, аға ғылыми қызметкер, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Зерттеу Университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail [kasym.ruslan@gmail.com](mailto:kasym.ruslan@gmail.com)

**Кашкимбаева Нуржамал Мейркуловна**, PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [knm25-1979@mail.ru](mailto:knm25-1979@mail.ru)

**Калдарова Мира Жорабековна**, Астана халықаралық университеті, Ақпараттық технология-лар және инженерия жоғары мектебі, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы e-mail: [kmirai8206@gmail.com](mailto:kmirai8206@gmail.com)

**Карасаева Әсел Рахметуллақызы**, Сениор-лектор, техника ғылысының магистрі Логистика және көлік академиясы (ЛЖКА), Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.karasaeva@alt.edu.kz](mailto:a.karasaeva@alt.edu.kz)

**Кәкімжанов Дәуір Нұржанұлы**, PhD, Д. Серікбаев атындағы ШЫҒЫС Қазақстан техникалық университеті, «Plasmascience» ЖШС, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dauir\\_97@mail.ru](mailto:dauir_97@mail.ru)

**Калтаев Абдулла Габдылманапулы**, PhD, қауымд. профессор (доцент), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [abdulla911@mail.ru](mailto:abdulla911@mail.ru)

**Карымсакова Индира Бекеновна**, PhD, «А, АТ және Қ» кафедрасы қауымд. профессоры м.а., Семей қаласының Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: [karymsakova.indira@mail.ru](mailto:karymsakova.indira@mail.ru)

**Калиева Алия Бекенқызы**, «А, АТ және Қ» кафедрасы докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aliya\\_93\\_28@mail.ru](mailto:aliya_93_28@mail.ru)

**Каверин Владимир Викторович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, өндірістік процестерді автоматтандыру бөлімі, Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kaverinkz@inbox.ru](mailto:kaverinkz@inbox.ru)

**Құлтан Исламбек Берікұлы**, «Электр энергетикасы (Жаңартпалы энергетика)» мамандығы бойынша магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [islambek.kultan@mail.ru](mailto:islambek.kultan@mail.ru)

**Кусайнов Арыстанбек Ерланович**, ғылыми қызметкер, «Plasmascience» ЖШС, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [arys20055@gmail.com](mailto:arys20055@gmail.com)

**Кинжибекова Акмарал Кабиденовна**, техника ғылымдарының кандидаты, «Жылуэнергетика» кафедрасы, доценті, Торайгыров университет, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akmaral70@mail.ru](mailto:akmaral70@mail.ru)

**Колесников Евгений Николаевич**, PhD Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, постдокторант, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [jeka89\\_pvl@mail.ru](mailto:jeka89_pvl@mail.ru)

**Коломыцева Ирина Александровна**, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша магистрант, Энергетика, автоматика және телебайланыс факультеті, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kolomirina@mail.ru](mailto:kolomirina@mail.ru)

**Котов Евгений Сергеевич**, PhD, Энергетика, автоматика және телебайланыс факультеті, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республика-сы, e-mail: [ko-tov1988@mail.ru](mailto:ko-tov1988@mail.ru)

**Колисниченко Олег Викторович**, техника ғылымдарының кандидаты, Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институтының аға ғылыми қызметкері. Украина ҰҒА, Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институты Киев қ., Киев қ., 03680, Украина, e-mail: [okolis@i.ua](mailto:okolis@i.ua)

**Кошкин Игорь Владимирович**, техника ғылымдарының кандидаты, «Электр энергетикасы» кафедрасы, доценті, А.Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [elektroenergetika@mail.ru](mailto:elektroenergetika@mail.ru)

**Крыкбаева Мариям**, PhD student, Торайгыров Университет, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [mgn017@mail.ru](mailto:mgn017@mail.ru)

**Кириченко Лалита Николаевна**, Industry.4.0 ҒЗО кіші ғылыми қызмет-кері.4.0, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [lalita17021996@gmail.com](mailto:lalita17021996@gmail.com)

**Клецель Марк Яковлевич**, техникалық ғылым докторы, профессор, Энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

**Киришман Александра Александровна**, «Электрэнергетика» мамандығы бойынша магистрант, Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық

университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sashakirshen-man@gmail.com](mailto:sashakirshen-man@gmail.com)

**Курмангалиева Нургуль Кадылбековна**, PhD докторы, АТФ кафедрасының меңгерушісі, Alikhan Bokeihan University, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nurgulkk@mail.ru](mailto:nurgulkk@mail.ru)

**Керибаева Талшын Бақытжанқызы**, Докторант, АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы», Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: [talshyn.keribayeva@agakaz.kz](mailto:talshyn.keribayeva@agakaz.kz)

**Майдисарова Акмаржан Тлемисовна**, оқытушы, «Павлодар химия-механикалық колледжі» МКҚК, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Tlemisovna@bk.ru](mailto:Tlemisovna@bk.ru)

**Максимов Валерий Юрьевич**, PhD, жылуфизика және техникалық физика кафедрасы, физика-техникалық факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Valeriy.Maximov@kaznu.kz](mailto:Valeriy.Maximov@kaznu.kz)

**Машрапов Бауыржан Ерболович**, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

**Машрапова Ризагуль Мегданиятовна**, PhD докторы, қауым. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы.

**Марковский Вадим Павлович**, техника ғылымдарының кандидаты, «Электрэнергетика» кафедрасы, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [wadim54@mail.ru](mailto:wadim54@mail.ru)

**Магазов Нуртолеу Мағзұмбекович**, «Машина жасау» мамандығының 2 кур-сының докторанты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық уни-верситеті, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [maga-zovn@gmail.com](mailto:maga-zovn@gmail.com)

**Мехтиев Али Джаванширович**, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің доценті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [barton.kz@mail.ru](mailto:barton.kz@mail.ru)

**Мерғалимова Алмагуль Кайырбергеновна**, PhD, қауымд. профессор, энергетика факультеті, Сейфуллин атындағы ҚазАТУ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [almagul\\_mergalimova@mail.ru](mailto:almagul_mergalimova@mail.ru)



**Меирбекова Оксана Даировна**, аға оқытушы, Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: [oksa-na\\_120183@mail.ru](mailto:oksa-na_120183@mail.ru)

**Медетұлы Ернар**, жылу физика және техникалық физика кафедрасы, физика-техникалық факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: [medetuli\\_ernar@mail.ru](mailto:medetuli_ernar@mail.ru)

**Найманова Динара Сакеновна**, педагогика ғылымдарының кандидаты, профессор, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dina\\_m\\_c@mail.ru](mailto:dina_m_c@mail.ru)

**Новожилов Александр Николаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессоры, «Электр энергетикасы» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [novozhilova\\_on@mail.ru](mailto:novozhilova_on@mail.ru)

**Новожилов Тимофей Александрович**, техника ғылымдарының кандидаты, «Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау» кафедрасы, доцент, Омбы мемлекеттік техникалық университеті. 644050, Омбы қ., Ресей Федерациясы, e-mail: [timokvey@mail.ru](mailto:timokvey@mail.ru)

**Новожилов Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, кафедра «Электроэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [novozhilova\\_on@mail.ru](mailto:novozhilova_on@mail.ru)

**Омарбекова Инара Касымхановна**, магистрант, Механика және мұнай-газ ісі кафедрасы, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [inara\\_19@mail.ru](mailto:inara_19@mail.ru)

**Онгар Булбул**, PhD, қауымд. профессор, доктор, Қ. И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті (ҚазҰТУ), Алматы қаласы 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [b.ongar@satbayev.university](mailto:b.ongar@satbayev.university)

**Омаров Ануар Серикович**, PhD, Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Энергетика, автоматика және телекоммуникациялар факультеті, Қарағанды, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [omarovanuar91@gmail.com](mailto:omarovanuar91@gmail.com)

**Оспанов Ербол Амангазович**, PhD, философия докторы, «А, АТ және Қ» кафедрасы қауымд. профессоры, Семей қаласының Шәкәрім атындағы

университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: [78oea@mail.ru](mailto:78oea@mail.ru)

**Олжабаева Қарлығаш Серікқызы**, PhD, «Жылу Энергетикалық қондырғылар» кафедрасы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [k.olzhabaveva@aes.kz](mailto:k.olzhabaveva@aes.kz)

**Оспанова Назира Нұрғазықызы**, профессор, педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, Торайғыров университеті Павлодар қ. 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru)

**Огаркова Анастасия Игоревна**, магистр, мұғалім А.Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті», Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ogarkova.anastasia@mail.ru](mailto:ogarkova.anastasia@mail.ru)

**Өжікенов Қасымбек Әділбекұлы**, техникалық ғылымдар кандидаты, профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kasym.ruslan@mail.com](mailto:kasym.ruslan@mail.com)

**Приходько Евгений Валентинович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [john1380@mail.ru](mailto:john1380@mail.ru)

**Пушкарёв Сергей Дмитриевич**, А. Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің магистранты, докторант, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Medpromexport@mail.ru](mailto:Medpromexport@mail.ru)

Рахадиллов Бауыржан Қорабаевич, PhD, қауымдастырылған профессор, директор, «Plasmascience» ЖШС, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rakhadilovb@gmail.com](mailto:rakhadilovb@gmail.com)

**Рахимбердинова Дилара Муратовна**, PhD «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы. постдокторанты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Di\\_lara83@mail.ru](mailto:Di_lara83@mail.ru)

**Раделюк Иван**, PhD, «Химия және химиялық технологиялар» кафедрасы, постдокторанты, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [drivanrade-lyuk@gmail.com](mailto:drivanrade-lyuk@gmail.com)

**Расмухаметова Айнура Серікқызы**, PhD, ассоц. профессор, «Жаңғыртылатын және баламалы энергия көздері» кафедрасы, Ғұмарбек

Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.rasmukhametova@aes.kz](mailto:a.rasmukhametova@aes.kz)

**Рустамов Насим Тулегенович**, техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: [na-sim52@mail.ru](mailto:na-sim52@mail.ru)

**Рындин Владимир Витальевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерлік факультет, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rvladvit@yandex.kz](mailto:rvladvit@yandex.kz)

**Рысбекова Айнара Амангелдиевна**, оқытушы, АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы», Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.rysbekova@agakaz.kz](mailto:a.rysbekova@agakaz.kz)

**Сәрсікеев Ермек Жасланұлы**, PhD, меңгеруші, «Электр жабдықтарын пайдалану» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sarsikeev.ermek@yandex.ru](mailto:sarsikeev.ermek@yandex.ru)

**Сыдыкова Гүлнар Күдайбергенова**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ. 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sydykova77@mail.ru](mailto:sydykova77@mail.ru)

**Сәтбаева Зарина Асқабекқызы**, PhD, директор орынбасары, «PlasmaScience», Қазақстан, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [satbaeva.z@mail.ru](mailto:satbaeva.z@mail.ru)

**Сейфула Гүлжан Нұрланқызы**, оқытушы, АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы», Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: [gulzhan.seyfulla@agakaz.kz](mailto:gulzhan.seyfulla@agakaz.kz)

**Сейтбек Ерлан Ержанұлы**, магистрант, Логистика және көлік академиясы (ЛЖКА), Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [e.sevitbek@alt.edu.kz](mailto:e.sevitbek@alt.edu.kz)

**Сериков Тансауле Габды-манапович**, PhD, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Зерттеу Университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Tansaule\\_s@mail.ru](mailto:Tansaule_s@mail.ru)

**Сейтжаппаров Нұрсұлтан Құрманғазыұлы**, D098 «Жылуэнергетика» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, көлік-

энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nurs.zhidebay@mail.ru](mailto:nurs.zhidebay@mail.ru)

**Талипов Олжас Манарбекович**, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [talipov1980@mail.ru](mailto:talipov1980@mail.ru)

**Токтарбекова Асем Берикқызы**, оқытушы, Жаратылыстану ғылымдар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asem\\_k\\_pvl@mail.ru](mailto:asem_k_pvl@mail.ru)

**Тленшиева Акмарал Абдрасиловна**, PhD, аға ғылыми қызметкер, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., 050010, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tlenshivevaakmar-al@gmail.com](mailto:tlenshivevaakmar-al@gmail.com)

**Турганбаев Мерей Абулатипович**, магистрант, Логистика және көлік академиясы (ЛЖКА), Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Turganbayev\\_11@mail.ru](mailto:Turganbayev_11@mail.ru)

**Тюлюгенова Ляззат Балтабаевна**, «Электро-энергетика» кафедрасының докторанты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Leonard7@internet.ru](mailto:Leonard7@internet.ru)

**Тлегенов Абай Бақытжанұлы**, техника ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [abav\\_68@mail.ru](mailto:abav_68@mail.ru)

**Тулбаева Гүлдана Анапияевна**, оқытушы Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: [da-na86\\_01@mail.ru](mailto:da-na86_01@mail.ru)

**Токишева Гүлден Серіжанқызы**, «Электротехникалық кешендер және жүйелер» мамандығы бойынша докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akhmetgulden@mail.ru](mailto:akhmetgulden@mail.ru)

**Өтеғұлов Арман Болатбекұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, «Электрмен жабдықтау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [utegulov76@mail.ru](mailto:utegulov76@mail.ru)

**Фаурат Алина Александровна**, PhD, қауым.профессор, постдокторант, Жаратылыстану ғылымдар факультеті, Торайғыров

университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [faurat.aa@teachers.tou.edu.kz](mailto:faurat.aa@teachers.tou.edu.kz)

**Харченко Светлана Петровна**, Торайғыров университет, Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы

**Шарипова Салтанат Еркиновна**, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [salta\\_pvl@bk.ru](mailto:salta_pvl@bk.ru)

**Шоланов Қорғанбай Сағнаевич**, техникалық ғылымдардың докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sholkor@gmail.ru](mailto:sholkor@gmail.ru)

**Яманбекова Аяулым Конусбековна**, кауымд. профессор, оқытушысы, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.yamanbekova@aes.kz](mailto:a.yamanbekova@aes.kz)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Абжекеева Айжан Зейнолгабиденовна**, преподаватель, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Аканова Акерке Сапаровна**, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Компьютерные науки», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [akerkegansaj@mail.ru](mailto:akerkegansaj@mail.ru)

**Анарбекова Галия Абаевна**, докторант, кафедра «Компьютерные науки», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [galiya2810@mail.ru](mailto:galiya2810@mail.ru)

**Азаматов Мурат Токтарбекович**, докторант, кафедра «Автоматизация и управление», Факультет энегетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [muratazamatov@mail.ru](mailto:muratazamatov@mail.ru)

**Аскарова Алия Сандыбаевна**, доктор физико-математических наук, Профессор, Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, физико-технический факультет, кафедра теплофизики и технической физики, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: [Aliya.Askarova@kaznu.kz](mailto:Aliya.Askarova@kaznu.kz)

**Арипова Назгуль Михайловна**, докторант кафедры «Теплоэнергетика» То-райғыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан, e-mail: [nazgul\\_2010@mail.ru](mailto:nazgul_2010@mail.ru)

**Ануарбеков Максат Арганатович**, докторант по специальности «Теплоэнергетика», Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [maxatanuarbekov@gmail.com](mailto:maxatanuarbekov@gmail.com)

**Алькина Алия Даулетхановна**, магистр, старший преподаватель Карагандинского технического университета имени А. Сагинова г. Караганда, 100000, e-mail: [alika\\_1308@mail.ru](mailto:alika_1308@mail.ru)

**Алибеккызы Карлыгаш**, PhD, ассоц. профессор ШИТиИС, Восточно - Казахстанский Технический Университет имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, e-mail: [karlygash.eleusizova@mail.ru](mailto:karlygash.eleusizova@mail.ru)

**Айтуганова Айша Менлибаевна**, магистр педагогических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [mag\\_zhan97@mail.ru](mailto:mag_zhan97@mail.ru)

**Әбдіматова Толқын Досалықызы**, преподаватель, АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: [t.abdimatova@agakaz.kz](mailto:t.abdimatova@agakaz.kz)

**Атякшева Александра Владимировна**, PhD, ассоц. профессор, энергетический факультет, КазАТИУ имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [sahsa77@mail.ru](mailto:sahsa77@mail.ru)

**Айтмагамбетова Маралгуль Борамбаевна**, докторант по образовательной программе D098 «Теплоэнергетика», энергетический факультет, КазАТИУ имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [aiti.mb@vandex.kz](mailto:aiti.mb@vandex.kz)

**Балходжаева Гулайым Раушанбековна**, магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [gulayim\\_2012@mail.ru](mailto:gulayim_2012@mail.ru)

**Балгынбек Турдыбек**, ст. научный сотрудник, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [balgyn.bek.2018@gmail.com](mailto:balgyn.bek.2018@gmail.com)

**Баймаханова Зейнегул Айдаровна**, кандидат технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [zina-1965@mail.ru](mailto:zina-1965@mail.ru)

**Болегенова Салтанат Алихановна**, Доктор физико-математических наук, Профессор, кафедра теплофизики и технической физики, физико-технический факультет, Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: [Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz](mailto:Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz)

**Бекболатова Жаннат Кайыркызы**, Магистр технических наук, Старший преподаватель, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (КазНТУ), г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [z.bekbolatova@satbavev.university](mailto:z.bekbolatova@satbavev.university)

**Бергузинов Асхат Нурланович**, PhD, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [askhat\\_berguzinov@mail.ru](mailto:askhat_berguzinov@mail.ru)

**Бекенова Дарига Бекенкызы**, Магистр, преподаватель, Университет Туран, Астана, 010000, Республика Казах-стан, e-mail: [Daryyba@mail.ru](mailto:Daryyba@mail.ru)

**Белощицкая Светлана Васильевна**, доктор технических наук, доцент, профессор депар-таментa вычислений и науки о данных, Астана, 010000, Республика Ка-захстан, e-mail: [bsv@astanait.edu.kz](mailto:bsv@astanait.edu.kz)

**Герасименко Татьяна Сергеевна**, кандидат технических наук, старший преподаватель Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [melary-5@mail.ru](mailto:melary-5@mail.ru)

**Даутбеков Мерхат Курметович**, Докторант 3го года обучения специальности «Теплоэнергетика», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: [merkhatd@gmail.com](mailto:merkhatd@gmail.com)

**Даутова Айгуль Зейнуллиновна**, ст. преподаватель, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [aigul67\\_03@mail.ru](mailto:aigul67_03@mail.ru)

**Дюсенгазина Назым Нигметоллаевна**, ст. преподаватель, магистр по специальности «Информатика», Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [d-no@inbox.ru](mailto:d-no@inbox.ru)

**Есет Гүлдана Мараткызы**, магистрант по специальности «Электроэнергетика», Кафедра «Возобновляемых и альтернативных источников энергии», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [yessetguldanam@gmail.com](mailto:yessetguldanam@gmail.com)

**Есмаханова Лаура Нурлановна**, Phd, кафедра «Автоматизация и телекоммуникация», Технологический факультет, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: [laura060780@mail.ru](mailto:laura060780@mail.ru)

**Жансериковна Акнур**, магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [zhanserikkyzy@mail.ru](mailto:zhanserikkyzy@mail.ru)



**Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна**, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Электротехники и автоматизации», факультет Энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ultuara@mail.ru](mailto:ultuara@mail.ru)

**Жолдыбаева Анель Нұрланқызы**, магистрант, курс 2 образовательной программы 6M071700 «Теплоэнергетика», ЕНУ имени Л. Н. Гумилёва, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [anel1406@mail.ru](mailto:anel1406@mail.ru)

**Журерова Лайла Гылыммеденовна**, PhD, ст. научный сотрудник, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: [leila\\_uka@mail.ru](mailto:leila_uka@mail.ru)

**Жунусов Жандос Торгайбаевич**, Магистрант по специальности «Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [jandos.junusov@gmail.com](mailto:jandos.junusov@gmail.com)

**Исенов Жанат Сансызбаевич**, докторант, кафедра «Электроэнергетика», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [issenov.zh@gmail.com](mailto:issenov.zh@gmail.com)

**Исаева Жазира Рахатдиновна**, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Электроснабжение» Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [Zhozi\\_maggi@mail.ru](mailto:Zhozi_maggi@mail.ru)

**Имангазинова Динара Кенжетаевна**, докторант кафедры «Электроэнергетика», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [dinaraigul@mail.ru](mailto:dinaraigul@mail.ru)

**Карманов Амангельды Ерболович**, доктор PhD, заведующий кафедрой «Тепло-энергетика», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Касым Руслан Токтасынулы**, ст. научный сотрудник, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [kasym.ruslan@gmail.com](mailto:kasym.ruslan@gmail.com)

**Кашкимбаева Нуржамал Мейркуловна**, PhD, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [knm25-1979@mail.ru](mailto:knm25-1979@mail.ru)

**Калдарова Мира Жорабековна**, Международный университет Астана, Высшая школа информационных технологий и инженерии, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [kmiraj8206@gmail.com](mailto:kmiraj8206@gmail.com)

**Карасаева Әсел Рахметуллаевна**, Сениор-лектор, магистр технических наук, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [a.karasaeva@alt.edu.kz](mailto:a.karasaeva@alt.edu.kz)

**Какимжанов Дауир Нуржанович**, докторант 3 го года обучения, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, ТОО «Plasmascience», г. Усть-Каменогорск, 070010 Республика Казахстан, e-mail: [dauir\\_97@mail.ru](mailto:dauir_97@mail.ru)

**Калтаев Абдулла Габдылманапулы**, PhD, ассоц. профессор (доцент), Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [abdulla911@mail.ru](mailto:abdulla911@mail.ru)

**Карымсакова Индира Бекеновна**, PhD, и.о. ассоц. профессора кафедры «А, ИТ и ГУ» университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: [karymsakova.indira@mail.ru](mailto:karymsakova.indira@mail.ru)

**Калиева Алия Бекенқызы**, докторант кафедры «А, ИТ и Г», Университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: [aliya\\_93\\_28@mail.ru](mailto:aliya_93_28@mail.ru)

**Каверин Владимир Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры Автоматизации производственных процессов, Факультет энергетики, авто-матики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [kaverinkz@inbox.ru](mailto:kaverinkz@inbox.ru)

**Култан Исламбек Берикович**, Магистрант по специальности «Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [islambek.kultan@mail.ru](mailto:islambek.kultan@mail.ru)

**Кусайнов Арыстанбек Ерланович**, Научный сотрудник, ТОО «Plasmascience», г. Усть-Каменогорск, 070010 Республика Казахстан, e-mail: [arvs20055@gmail.com](mailto:arvs20055@gmail.com)

**Кинжибекова Акмарал Кабиденовна**, кандидат техниче-ских наук, ассоциированный профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан, e-mail: [akmaral70@mail.ru](mailto:akmaral70@mail.ru)

**Колесников Евгений Николаевич**, PhD, Постдокторант кафедры «Электротехника и автоматизация, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [jeka89\\_pvl@mail.ru](mailto:jeka89_pvl@mail.ru)

**Коломышева Ирина Александровна**, магистрант по специальности «Автоматизация и управление», Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [kolomirina@mail.ru](mailto:kolomirina@mail.ru)

**Котов Евгений Сергеевич**, PhD, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [kotov1988@mail.ru](mailto:kotov1988@mail.ru)

**Колисниченко Олег Викторович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины, Института электросварки имени Е. О. Патона, г. Киев, 03680, Украина, e-mail: [okolis@i.ua](mailto:okolis@i.ua)

**Кошкин Игорь Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: [elektroenergetika@mail.ru](mailto:elektroenergetika@mail.ru)

**Крыкбаева Мариям**, PhD student, Торайгыров Университет Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [mgn017@mail.ru](mailto:mgn017@mail.ru)

**Кириченко Лалита Николаевна**, младший научный сотрудник НИЦ Industry 4.0, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [lalita17021996@gmail.com](mailto:lalita17021996@gmail.com)

**Клецель Марк Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

**Киришман Александра Александровна**, магистрант по специальности «Электроэнер-гетика», Факультет энергетики, автоматики и телекоммуни-каций, Карагандинский технический университет имени

Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: [sashakirshen-man@gmail.com](mailto:sashakirshen-man@gmail.com)

**Курмангалиева Нургуль Кадылбековна**, PhD, Заведующий кафедрой ИТН, Alikhan Bokeihan University, г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: [nurgulkk@mail.ru](mailto:nurgulkk@mail.ru)

**Керибаева Талшын Бақытжанқызы**, докторант, АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: [talshyn.keribayeva@agakaz.kz](mailto:talshyn.keribayeva@agakaz.kz)

**Майдисарова Акмаржан Тлемисовна**, преподаватель, «Павлодарский химико-механический колледж», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Tlemisovna@bk.ru](mailto:Tlemisovna@bk.ru)

**Максимов Валерий Юрьевич**, PhD, кафедра теплофизики и технической физики, физико-технический факультет, Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: [Maximov.Valeriy.@kaznu.kz](mailto:Maximov.Valeriy.@kaznu.kz)

**Машрапов Бауыржан Ерболович**, PhD, постдокторант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

**Машрапова Ризагуль Мегданиятовна**, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

**Марковский Вадим Павлович**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [wadim54@mail.ru](mailto:wadim54@mail.ru)

**Магазов Нуртолеу Магзумбекович**, докторант 2-го года обучения специальности Машиностроение Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: [maga-zovn@gmail.com](mailto:maga-zovn@gmail.com)

**Мехтиев Али Джаванширович**, ассоц. профессор, доцент Казахского агротехнического исследовательского университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [barton.kz@mail.ru](mailto:barton.kz@mail.ru)

**Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна**, PhD, ассоц. профессор, энергетический факультет, КазАТИУ имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [almagul\\_mergalimova@mail.ru](mailto:almagul_mergalimova@mail.ru)

**Меирбекова Оксана Даировна**, ст. преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Хожди Ахмеда Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: [oksa-na\\_120183@mail.ru](mailto:oksa-na_120183@mail.ru)

**Медетулы Ернар**, кафедра теплофизики и технической физики, физико-технический факультет, Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: [medetuli\\_ernar@mail.ru](mailto:medetuli_ernar@mail.ru)

**Найманова Динара Сакеновна**, кандидат педагогических наук, профессор, Факультет «Computer Science», Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [dina\\_m\\_c@mail.ru](mailto:dina_m_c@mail.ru)

**Новожилов Тимофей Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Омский государственный технический университет. 644050, Российская федерация, e-mail: [timokvey@mail.ru](mailto:timokvey@mail.ru)

**Омарбекова Инара Касымхановна**, магистрант кафедры механики и нефтегазового дела, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [inara\\_19@mail.ru](mailto:inara_19@mail.ru)

**Онгар Булбул**, PhD, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (КазННТУ), г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [b.ongar@satbayev.university](mailto:b.ongar@satbayev.university)

**Омаров Ануар Серикович**, PhD, Карагандинский технический университет им.Абылкаса Сагинова, Факультет энергетики, автоматике және телекоммуникаций, Караганда, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [omarovanuar91@gmail.com](mailto:omarovanuar91@gmail.com)

**Оспанов Ербол Амангазович**, PhD, ассоц. профессор кафедры «А, ИТ и Г», Университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: [78oea@mail.ru](mailto:78oea@mail.ru)

**Олжабаева Карлыгаш Сериковна**, PhD, Кафедра «Тепло энергетических установок», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [k.olzhabayeva@aes.kz](mailto:k.olzhabayeva@aes.kz)

**Оспанова Назира Нургазыевна**, профессор, кандидат педагогических наук, доцент, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru)

**Огаркова Анастасия Игоревна**, Магистр, преподаватель, Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: [ogarkova.anastasia@mail.ru](mailto:ogarkova.anastasia@mail.ru)

**Ожикенов Касымбек Адильбекович**, кандидат технических наук, профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [kasym.ruslan@mail.com](mailto:kasym.ruslan@mail.com)

**Приходько Евгений Валентинович**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Теплоэнергетика» Торайғыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан, e-mail: [john1380@mail.ru](mailto:john1380@mail.ru)

**Пушкарев Сергей Дмитриевич**, магистр, докторант, Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынұлы, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: [Medpromexport@mail.ru](mailto:Medpromexport@mail.ru)

**Рахадиллов Бауыржан Корабаевич**, PhD, ассоц. профессор, директор, ТОО «Plasmascience», г. Усть-Каменогорск, 070010 Республика Казахстан, e-mail: [rakhadilovb@gmail.com](mailto:rakhadilovb@gmail.com)

**Рахимбердинова Дилара Муратовна**, PhD, постдокторант, кафедра «Электротехника и автоматизация, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Di\\_lara83@mail.ru](mailto:Di_lara83@mail.ru)

**Радлюк Иван**, PhD, постдокторант, кафедра «Химия и химические тех-нологии», факультет естественных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [drivanradelyuk@gmail.com](mailto:drivanradelyuk@gmail.com)

**Расмухаметова Айнур Сериковна**, PhD, ассоц. профессор Кафедра «Возобновляемых и альтернативных источников энергии», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [a.rasmukhametova@aes.kz](mailto:a.rasmukhametova@aes.kz)

**Рустамов Насим Тулегенович**, доктор технических наук, стр. преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Хожди Ахмеда Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: [na-sim52@mail.ru](mailto:na-sim52@mail.ru)

**Рындин Владимир Витальевич**, кандидат технических наук, профессор, факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казах-стан, e-mail: [rvladvit@yandex.kz](mailto:rvladvit@yandex.kz)

**Рысбекова Айнара Амангелдиевна**, преподаватель, АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, 050039, Респуб-лика Казахстан, e-mail: [a.rysbekova@agakaz.kz](mailto:a.rysbekova@agakaz.kz)

**Сарсикеев Ермек Жасланович**, PhD, заведующий кафедрой «Эксплуатации электрооборудования» Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [sarsikevев.ermek@yandex.ru](mailto:sarsikevев.ermek@yandex.ru)

**Сыдыкова Гульнар Кудайбергеновна**, Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [sydykova77@mail.ru](mailto:sydykova77@mail.ru)

**Сатбаева Зарина Аскабековна**, PhD, заместитель директора, ТОО «PlasmaScience», г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: [satbae-va.z@mail.ru](mailto:satbae-va.z@mail.ru)

**Сейфула Гүлжан Нұрланқызы**, преподаватель, АО «Академия Гражданской Авиации», Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: [gulzhan.seyfulla@agakaz.kz](mailto:gulzhan.seyfulla@agakaz.kz)

**Сейтбек Ерлан Ержанұлы**, Магистрант, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [e.seyitbek@alt.edu.kz](mailto:e.seyitbek@alt.edu.kz)

**Сериков Тансауле Габдыманович**, PhD, ассоц. профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [tansaule\\_s@mail.ru](mailto:tansaule_s@mail.ru)

**Сейтжаппаров Нұрсұлтан Құрманғазыұлы**, докторант по образовательной программе D098 «Теплоэнергетика», транспортно-энергетический факультет, ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [nurs.zhidebay@mail.ru](mailto:nurs.zhidebay@mail.ru)

**Талипов Олжас Манарбекович**, профессор, Факультет энергетика, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан e-mail: [talipov1980@mail.ru](mailto:talipov1980@mail.ru)

**Токтарбекова Асем Берикқызы**, преподаватель, Факультет естественных наук, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [асем\\_k\\_pvl@mail.ru](mailto:асем_k_pvl@mail.ru)

**Тленшиева Акмарал Абдрасиловна**, PhD, ст. научный сотрудник, докторант Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, 050010, Республика Казахстан, e-mail: [tlenshivevaakmaral@gmail.com](mailto:tlenshivevaakmaral@gmail.com)

**Турганбаев Мерей Абулатипович**, Магистрант, Академия логистики и транспорта г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [Turganbayev\\_11@mail.ru](mailto:Turganbayev_11@mail.ru)

**Тюлюгенова Ляззат Балтабаевна**, докторант, «Электроэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Leonard7@internet.ru](mailto:Leonard7@internet.ru)

**Тлегенов Абай Бакытжанович**, магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [abay\\_68@mail.ru](mailto:abay_68@mail.ru)

**Түлебаева Гүлдана Анапияевна**, преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Хожди Ахмеда Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: [da-na86\\_01@mail.ru](mailto:da-na86_01@mail.ru)

**Токишева Гүлден Серыжанқызы**, докторант по специальности «Электротехнические комплексы и системы», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [akhmetgulden@mail.ru](mailto:akhmetgulden@mail.ru)

**Утегулов Арман Болатбекович**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Электроснабжение», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [utegulov76@mail.ru](mailto:utegulov76@mail.ru)

**Фаурат Алина Александровна**, PhD, ассоц. профессор, Постдокторант, Факультет естественных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [faurat.aa@teachers.tou.edu.kz](mailto:faurat.aa@teachers.tou.edu.kz)

**Харченко Светлана Петровна**, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

**Шарипова Салтанат Еркиновна**, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [salta\\_pvl@bk.ru](mailto:salta_pvl@bk.ru)

**Шоланов Корганбай Сагнаевич**, доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет



имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [sholkor@gmail.ru](mailto:sholkor@gmail.ru)

**Яманбекова Аяулым Конусбековна**, ассоц. профессор, преподаватель, кафедра «Теплоэнергетика», Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [a.yamanbekova@aes.kz](mailto:a.yamanbekova@aes.kz)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Aizhan Zeinolgabidenovna**, teacher, Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Akanova Akerke Saparovna**, PhD, Senior lecturer, Department of Computer Science, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Senior lecturer, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akerkegansaj@mail.ru](mailto:akerkegansaj@mail.ru)

**Anarbekova Galiya Abayevna**, PhD, student, Department of Computer Science, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [galiya2810@mail.ru](mailto:galiya2810@mail.ru)

**Azamatov Murat Toktarbekovich**, doctoral student in «automation and management», Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Re-public of Kazakhstan, e-mail: [muratazama-tov@mail.ru](mailto:muratazama-tov@mail.ru)

**Askarova Aliya Sandybayevna**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Thermophysics and Technical Physics Department, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Aliya.Askarova@kaznu.kz](mailto:Aliya.Askarova@kaznu.kz)

**Aripova Nazgul Mi-khailovna**, Doctoral student of the Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nazgul\\_2010@mail.ru](mailto:nazgul_2010@mail.ru)

**Anuarbekov Maxat Arganatovich**, doctoral student in «Thermal power engineering», Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [maxata-nuarbekov@gmail.com](mailto:maxata-nuarbekov@gmail.com)

**Alkina Aliya Dauletkhanovna**, Master's degree, Senior lecturer at Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, e-mail: [alika\\_1308@mail.ru](mailto:alika_1308@mail.ru)

**Alibekkyzy Karlygash**, PhD, associate profes-sor SITIS, D. Serikbayeva East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070016, Republic of Kazakh- stan, e-mail: [karlygash.eleusizova@mail.ru](mailto:karlygash.eleusizova@mail.ru)

**Aituganova Aisha Menlibaikyzy**, master's degree in pedagogical sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mag\\_zhan97@mail.ru](mailto:mag_zhan97@mail.ru)

**Abdimatova Tolkyun, Teacher**, JSC «Academy of Civil Aviation», Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: [t.abdimatova@agakaz.kz](mailto:t.abdimatova@agakaz.kz)

**Atyaksheva Alexandra Vladimirovna**, PhD, Associate Professor, Faculty of Energy, KazATIU named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sahsa77@mail.ru](mailto:sahsa77@mail.ru)

**Aitmagambetova Maralgul Borambaevna**, doctoral student in educational program D098 «Thermal Power Engineering», Faculty of Energy, KazATIU named after S. Seifullin, Astana 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aiti.mb@vandex.kz](mailto:aiti.mb@vandex.kz)

**Balkhodzhayeva Gulayim Raushanbekkyzy**, Master of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [gulayim\\_2012@mail.ru](mailto:gulayim_2012@mail.ru)

**Balgynbek Turdybek**, senior researcher, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [balgyn.bek.2018@gmail.com](mailto:balgyn.bek.2018@gmail.com)

**Baimakhanova Zeynegul Aidarovna**, Ph.D, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zina-1965@mail.ru](mailto:zina-1965@mail.ru)

**Bolegenova Saltanat Alihanovna**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Thermophysics and Technical Physics Department, Faculty of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz](mailto:Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz)

**Bekbolatova Zhannat Kayyrkyzy**, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (KazNITU), Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [z.bekbolatova@satbavev.university](mailto:z.bekbolatova@satbavev.university)

**Berguzinov Askhat Nurlanovich**, PhD, Profes-sor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [askhat\\_berguzinov@mail.ru](mailto:askhat_berguzinov@mail.ru)

**Bekenova Dariga, Master's degree**, Lec-turer, University of Turan, Astana, 010000, Republic of Kazakh-stan, e-mail: [Dariv6a@mail.ru](mailto:Dariv6a@mail.ru)

**Biloshchytska Svitlana**, Doctor of Tech-nical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Computing and Data Science, Astana, 010000, Republic of Ka-zakhstan, e-mail: [bsv@astanait.edu.kz](mailto:bsv@astanait.edu.kz)

**Gerassimenko Tatyana Sergeevna**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [melary-5@mail.ru](mailto:melary-5@mail.ru)

**Dautbekov Merkhat Kurmetovich**, Doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, UstKamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [merkhatd@gmail.com](mailto:merkhatd@gmail.com)

**Dautova Aigul Zeynullinovna**, senior lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aigul67\\_03@mail.ru](mailto:aigul67_03@mail.ru)

**Dyussengazina Nazym Nigmatollaevna**, master in «Computer Science», senior lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [d-no@inbox.ru](mailto:d-no@inbox.ru)

**Yesset Guldana Maratkyzy**, master's student in «Electrical Engineering», «Department of Renewable and Alternative Energy Sources», Almaty University of Power Engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [yessetguldanam@gmail.com](mailto:yessetguldanam@gmail.com)

**Yesmakhanova Laura Nurlanovna**, PhD, Doc-tor, Department of Automation and Telecom-munications, Faculty of Technology, M. H. Dulati Taraz Regional Univer-sity, Taraz, 080000, Re-public of Kazakhstan, e-mail: [laura060780@mail.ru](mailto:laura060780@mail.ru)

**Zhalmagambetova Ultuar**, PhD, Associate Pro-fessor of the Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty Power engineers, Toraighyrov uni-versity, Pavlodar, 140008, Kazakhstan, e-mail: [ultuara@mail.ru](mailto:ultuara@mail.ru)

**Zholdybaeva Anel Nurlankyzy**, 2nd year master's student in educational program 6M071700 «Thermal Power Engineering», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [anel1406@mail.ru](mailto:anel1406@mail.ru)

**Zhanserikkyzy Aknur**, Master of Technical Sci-ences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhanserikkyzv@mail.ru](mailto:zhanserikkyzv@mail.ru)

**Zhurerova Laila Galymmedenovna**, PhD, Senior Researcher, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Address: Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [lei-la\\_uka@mail.ru](mailto:lei-la_uka@mail.ru)

**Zhunusov Zhandos Torgaibayevich**, Master's student in the specialty «Electric power industry (Renewable energy), Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [jan-dos.junusov@gmail.com](mailto:jan-dos.junusov@gmail.com)

Isenov Janat Sansyzbaevich, Doctoral student of the Department of Electrical Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [issenov.zh@gmail.com](mailto:issenov.zh@gmail.com)

**Isaeva Zhazira Rakhaddinovna**, PhD doctor, senior lecturer of the Department of «Power Supply», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Zhozi\\_maggi@mail.ru](mailto:Zhozi_maggi@mail.ru)

**Imangazina Dinara Kenzhetaevna**, Doctoral student of the Department of «Electric Power Engineering», Toraigyrov University, Ekibastuz, Kazakhstan. Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dinaraigul@mail.ru](mailto:dinaraigul@mail.ru). Cell.

**Karmanov Amangeldy Erbolovich**, Doctor PhD, Head of the Department of Heat Power Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Kassym Ruslan Toktassynuly**, senior researcher, S. Seifullin Kazakh Agro-technical Research University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kasym.ruslan@gmail.com](mailto:kasym.ruslan@gmail.com)

**Kashkimbayeva Nurzhamal Merkulova**, PhD doctor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [knm25-1979@mail.ru](mailto:knm25-1979@mail.ru)

**Kaldarova Mira Zhorabekovna**, Astana International University, Higher School of Information Technology and Engineering, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kmirai8206@gmail.com](mailto:kmirai8206@gmail.com)

**Karasaeva Asel Rakhmetullakzy**, Senior Lecturer, Master of Technical Sciences, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.karasaeva@alt.edu.kz](mailto:a.karasaeva@alt.edu.kz)

**Kakimzhanov Daur Nurzhanovich**, Doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Plasmascience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [daur\\_97@mail.ru](mailto:daur_97@mail.ru)

**Kaltayev Abdulla Gabdyl-manapuly**, Associate Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [abdulla911@mail.ru](mailto:abdulla911@mail.ru)

**Karymsakova Indira**, PhD , associate profes-sor Shakarim University, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: [karymsakova.indira@mail.ru](mailto:karymsakova.indira@mail.ru)

**Kaliyeva Aliya**, Doc-toral student of the De-partment of «A, IT and G», Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakh-stan, e-mail: [aliya\\_93\\_28@mail.ru](mailto:aliya_93_28@mail.ru)

**Kaverin Vladimir**, candi-date of Technical Sciences, Asso-ciate Professor of the Depart-ment of Automation of Produc-tion Processes, Faculty of power engineering, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, automation and telecommunica-tions, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kaverinkz@inbox.ru](mailto:kaverinkz@inbox.ru)

**Kultan Islambek**, Master's student in the specialty «Electric power industry (Renewable energy)», Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [islambek.kultan@mail.ru](mailto:islambek.kultan@mail.ru)

**Kussainov Arystanbek Erlanovich**, Researcher, Plas-mascience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ar-ys20055@gmail.com](mailto:ar-ys20055@gmail.com)

**Kinzhibekova Akmaral Kabidenovna**, Candidate of Tech-nical Sciences, Associate Professor of the Depart-ment of Heat Power Engi-neering, Toraighyrov Uni-versity, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akmar-al70@mail.ru](mailto:akmar-al70@mail.ru)

**Kolesnikov Evgeniy Nikolaevich**, Postdoctoral student of the Department of Electrical Engineering and Automation, PhD «Electric Power Engineering», Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [jeka89\\_pvl@mail.ru](mailto:jeka89_pvl@mail.ru)

**Kolomytseva Irina Alexandrovna**, master stu-dent in «Automation and control», Faculty of Energy, Computer Science and Tele-communications, Abylkas Saginov Karaganda tech-nical university, Karaganda, 100027, Republic of Kazakh-stan, e-mail: [kolomiri-na@mail.ru](mailto:kolomiri-na@mail.ru)

**Kotov Yevgenii Ser-geevich**, PhD, Faculty of Energy, Computer Science and Telecommunica-tions, Abylkas Saginov Kara-ganda technical university, Karaganda, 100027, Republic of Kazakh- stan, e-mail: [ko-tov1988@mail.ru](mailto:ko-tov1988@mail.ru)

**Kolisnichenko Oleg Viktorovich**, D. in Engineering, Senior Researcher at the E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sci-ences of Ukraine., E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: [okolis@i.ua](mailto:okolis@i.ua)

**Koshkin Igor Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering, Kostanay Regional University named after A. Baitursynuly, Kostanay city, 110000, The Republic of Kazakhstan, e-mail: [elektroenergetika@mail.ru](mailto:elektroenergetika@mail.ru)

**Krykbayeva Maryam**, PhD student, Toraighyrov university, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [mgn017@mail.ru](mailto:mgn017@mail.ru)

Kirichenko Lalita Ni-kolaevna, Junior Researcher at SIC Industry 4.0, Astana, 010000, Republic of Ka-zakhstan, e-mail: [lalita17021996@gmail.com](mailto:lalita17021996@gmail.com)

**Kletsel Mark Yakovlevich**, doctor of technical sciences, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

**Kirshenman Alexandra**, masters of specialization «Elec-trical power engineering», Fac-ulty of power engineering, auto-mation and telecommunications, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karagan-da, 100027, Republic of Kazakh- stan, e-mail: [sashakirshenman@gmail.com](mailto:sashakirshenman@gmail.com)

**Kurmangaliyeva Nurgul**, PhD, Head of the ITN Department, Alikhan Bokeihan University, Semey, 070014, Republic of Ka-zakhstan, e-mail: [nurgulkk@mail.ru](mailto:nurgulkk@mail.ru)

**Keribayeva Talshyn**, doctoral student, JSC «Academy of Civil Aviation», Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: [talshyn.keribayeva@agakaz.kz](mailto:talshyn.keribayeva@agakaz.kz)

**Maidisarova Akmarzhan Tlemisovna**, teacher, «Pavlodar Chemical and Mechanical College», Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Tlemisovna@bk.ru](mailto:Tlemisovna@bk.ru)

**Maximov Valeriy Yurevich**, PhD, Faculty of Physics and Technology, Thermophysics and Technical Physics Department, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Valeriy.Maximov@kaznu.kz](mailto:Valeriy.Maximov@kaznu.kz)

**Mashrapov Bauyrzhan Erbolovich**, PhD, postdoctoral student, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

**Mashrapova Rizagul Megdaniyatovna**, PhD, assoc. professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

**Markovskiy Vadim Pavlovich**, candidate of technical sciences, professor of the Department of Electrical Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [wadim54@mail.ru](mailto:wadim54@mail.ru)

**Magazov Nurtoleu Magzumbekovich**, Doctoral student of the 2nd year of study in the specialty Mechanical Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [magazovn@gmail.com](mailto:magazovn@gmail.com)

**Mekhtiyev Ali Dzhavanshirovich**, Associate Professor, Associate Professor of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [barton.kz@mail.ru](mailto:barton.kz@mail.ru)

**Mergalimova Almagul Kairbergenovna**, PhD, Associate Professor, Faculty of Energy, KazATIU named after S.Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almagul\\_mergalimova@mail.ru](mailto:almagul_mergalimova@mail.ru)

**Meirbekova Oxana Dairovna**, Senior Lecturer, Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University, Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: [oksana\\_120183@mail.ru](mailto:oksana_120183@mail.ru)

**Medetuly Ernar**, Thermophysics and Technical Physics Department, Faculty of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: [medetuli\\_ernar@mail.ru](mailto:medetuli_ernar@mail.ru)

**Naimanova Dinara Sakenovna**, candidate of Pedagogical Sciences, professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dina\\_m\\_c@mail.ru](mailto:dina_m_c@mail.ru)

**Novozhilov Timofey Alexandrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Power Supply of Industrial Enterprises», Omsk State Technical University. 644050, Russian Federation, e-mail: [timokvey@mail.ru](mailto:timokvey@mail.ru)

**Novozhilov Alexander Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Electric Power Engineering», Toraighyrov University. Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [novozhilova\\_on@mail.ru](mailto:novozhilova_on@mail.ru)



**Omarbekova Inara Kasymkhanovna**, Master student, Department of Mechanics and Oil and Gas Business, Toraigyrov Uni-versity, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [inara\\_19@mail.ru](mailto:inara_19@mail.ru)

**Ongar Bulbul**, PhD, Associate Professor, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [b.ongar@satbayev.university](mailto:b.ongar@satbayev.university)

**Omarov Anuar Serikovich**, PhD, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [omarovanuar91@gmail.com](mailto:omarovanuar91@gmail.com)

**Ospanov Yerbol**, PhD, associate professor, Shakarim University, Semey, 70014, Republic of Kazakh-stan, e-mail: [78oea@mail.ru](mailto:78oea@mail.ru)

**Olzhabayeva Karlygash Serikovna**, PhD, «Electrical Engineering», Department of thermal Power Plants», Almaty University of Power Engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail:k. [olzhabayeva@aes.kz](mailto:olzhabayeva@aes.kz)

**Ospanova Nazira Nurgazyevna**, Professor, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nazira\\_n@mail.ru](mailto:nazira_n@mail.ru)

**Ogarkova Anastasia**, Master, teacher, Kostanay Regional University named after A. Baitursynuly, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ogarkova.anastasia@mail.ru](mailto:ogarkova.anastasia@mail.ru)

**Ozhikenov Kasymbek Adilbekovich**, Candidate of Technical sciences, professor, K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail:kasym.ruslan@mail.com

**Prikhodko Evgeniy Valentinovich**, Candidate of Tech-nical Sciences, Professor of the Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: [john1380@mail.ru](mailto:john1380@mail.ru)

**Pushkarev Sergey**, master's degree, doctoral student, Kostanay Regional University named after A. Baitursynuly, Kostanay city, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Medpromexport@mail.ru](mailto:Medpromexport@mail.ru)

**Rakhadilov Bauyrzhan Korabaevich**, PhD, Associate Professor, Director, Plasmasci-ence LLP, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rakhadilovb@gmail.com](mailto:rakhadilovb@gmail.com)

**Rakhimberdinova Dilara Muratovna**, Post-doctoral student of the Department of Electrical Engineering and Automation, PhD «Electric Power Engineering», // Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Di\\_lara83@mail.ru](mailto:Di_lara83@mail.ru)

**Radelyuk Ivan**, PhD, postdoc of the Department of Chemistry and Chemical Technologies, Faculty of natural sciences, Toraighyrov university, Pav-lodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [drivan-radelyuk@gmail.com](mailto:drivan-radelyuk@gmail.com)

**Rasmukhametova Ainur**, PhD, associate professor, Department of Renewable and Alternative Energy Sources, Almaty University of Power Engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.rasmukhametova@aues.kz](mailto:a.rasmukhametova@aues.kz)

**Rustamov Nassim Tulegenovich**, Doctor of Technical Sciences, Sen-ior Lecturer, Akhmet Yassawi International Kazakh Turkish University, Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: [na-sim52@mail.ru](mailto:na-sim52@mail.ru)

**Ryndin Vladimir Vitalievich**, Candidate of Technical sciences, Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rvmad-vit@yandex.kz](mailto:rvmad-vit@yandex.kz)

**Rysbekova Ainara**, teacher, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, Republic of Kazakh-stan, e-mail: [a.rysbekova@agkaz.kz](mailto:a.rysbekova@agkaz.kz)

**Sarsikeev Yermek Zhaslanovich**, Doctor of PhD, Head of the Department of «Operation of Electrical Equipment» Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sarsikeev.yermek@yandex.ru](mailto:sarsikeev.yermek@yandex.ru)

**Sydykova Gulnar**, PhD, Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and Technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sydykova77@mail.ru](mailto:sydykova77@mail.ru)

**Satbayeva Zarina Askabekovna**, PhD Dr., Deputy Director , PlasmaScience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070010, Re-public of Kazakhstan, e-mail: [satbaeva.z@mail.ru](mailto:satbaeva.z@mail.ru)

**Seifula Gulzhan**, teacher, Academy of Civil Avi-ation, Almaty, 050039, Republic of Ka-zakhstan, e-mail: [gulzhan.seyfulla@agkaz.kz](mailto:gulzhan.seyfulla@agkaz.kz)

Seitbek Yerlan Yerzhanuly, master student, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [e.seyitbek@alt.edu.kz](mailto:e.seyitbek@alt.edu.kz)

**Serikov Tansaule Gabdymanapovich**, PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tansaule\\_s@mail.ru](mailto:tansaule_s@mail.ru)

**Seitzhapparov Nursultan Kurmangazyuly**, doctoral student in educational program D098 «Thermal Power Engineering», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nurs.zhidebay@mail.ru](mailto:nurs.zhidebay@mail.ru)

**Talipov Olzhas Manarbekovich**, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [talipov1980@mail.ru](mailto:talipov1980@mail.ru)

**Toktarbekova Assem Berikkyzy**, teacher, Faculty of Natural Sci-ences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asem\\_k\\_pvl@mail.ru](mailto:asem_k_pvl@mail.ru)

**Tlenshieva Akmaral Abdrasilovna**, senior researcher, doctoral student, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tlenshivevaakmar-al@gmail.com](mailto:tlenshivevaakmar-al@gmail.com)

**Turganbaev Merey Abulatipovich**, master student, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Turganbayev\\_11@mail.ru](mailto:Turganbayev_11@mail.ru)

**Тюлюгенова Лязат Балтабаевна**, Doctoral student Department of Electrical Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Re-public of Kazakhstan, e-mail: [Leonard7@internet.ru](mailto:Leonard7@internet.ru)

**Tlegenov Abai Bakytzhanovich**, Master of Technical Sciences Technology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [abay\\_68@mail.ru](mailto:abay_68@mail.ru)

**Tulebaeva Guldana Anapiyaeva**, Lecturer, Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University, Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: [da-na86\\_01@mail.ru](mailto:da-na86_01@mail.ru)

**Tokisheva Gulden Seryzhankyzy**, doctoral student in «Electrical Engineering Complexes and Systems», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akhmetgulden@mail.ru](mailto:akhmetgulden@mail.ru)

**Utugulov Arman Bolatbekovich**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Power Supply, S. Seifullin Kazakh

AgroTechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [utegulov76@mail.ru](mailto:utegulov76@mail.ru)

**Faurat Alina Aleksan-drovna**, PhD, Associate Professor, Postdoctoral researcher Faculty of Natural Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [faurat.aa@teachers.tou.edu.kz](mailto:faurat.aa@teachers.tou.edu.kz)

**Kharchenko Svetlana Petrovna**, Toraigyrov University, Pavlodar 140000, Republic of Kazakhstan

**Sharipova Saltanat**, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [salta\\_pvl@bk.ru](mailto:salta_pvl@bk.ru)

**Sholanov Korganbai Sagnaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sholkor@gmail.ru](mailto:sholkor@gmail.ru)

**Yamanbekova Ayaulym Konusbekovna**, Associated professor-teacher Department of «Heat Power engineering», Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.yamanbekova@aes.kz](mailto:a.yamanbekova@aes.kz)

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ  
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ  
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,  
«КРАЕВЕДЕНИЕ»)**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

**\*В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

**\*Количество соавторов одной статьи не более 5.**

**\*Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

**\*Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

**\*Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

**\*Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

**\*Квитанция об оплате предоставляется после принятия статьи к публикации. Стоимость публикации в журнале составляет 20 000 (двадцать тысяч) тенге.**

**\*Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

**Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:**

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц** печатного текста. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) *см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

**Статья должна содержать:**

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество (полностью)** автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*), **главного автора пометить символом (\*)**;

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы

проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

**9 Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

**10 Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Kіріспе / Introduction** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (*при наличии*) (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. *Объем не менее 10 не более чем 20 наименований* (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

**Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом:**

автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

**11 Иллюстрации, перечень рисунков и подрисуночные надписи к ним** представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

**12 Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).



**На отдельной странице (после статьи)**

**В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);**

**Сведения об авторах**

языке казахском На	языке русском На	языке английском На
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

## Информация для авторов

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайғыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

**Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.**

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирование 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

**Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.**

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

**Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)**

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

**Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате.** Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

**Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на сайт: [www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz).** Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

**140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,**

НАО «Торайғыров университет»,

**Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.**

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

**Наши реквизиты:**

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspі.kz Платежи – Образование – Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jýsan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKCKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

**ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ**

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

**\*С. К. Антикеева***Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар***ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ  
КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ  
ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**

*В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.*

*Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.*

## **Введение**

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## **Материалы и методы**

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## **Результаты и обсуждение**

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## **Выводы**

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

*Продолжение текста публикуемого материала*

## **Список использованных источников**

1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.

2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.

3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.

4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.

6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

## References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology

in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ecologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniyu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p. c.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In *Idei i idealy*. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.

10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraiyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

*C. K. Антикеева*

.Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ

## **БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ**

*Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.*

*S. K. Antikeeva*

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar



## **THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES**

*This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.*

*Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.*

## Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
<p>Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАК, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00</p>	<p>Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00</p>	<p>Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00</p>

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ  
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,  
«КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегии статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

**Ответственность экспертов (рецензентов)**

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта

интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

### **Ответственность авторов**

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)