

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

---

№ 4 (2022)

ПАВЛОДАР

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/UJEG4973>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.  
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., доктор PhD

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., доктор PhD

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., д.т.н., профессор  
Новожилов А. Н., д.т.н., профессор  
Никитин К. И., д.т.н., профессор (Россия)  
Никифоров А. С., д.т.н., профессор  
Новожилов Т. А., д.т.н., профессор  
Алиферов А.И., д.т.н., профессор (Россия)  
Кошеков К.Т., д.т.н., профессор  
Приходько Е.В., к.т.н., профессор  
Оспанова Н. Н., к.п.н., доцент  
Нефтисов А. В., доктор PhD  
Омарова А.Р., технический редактор

**Акишев К. М., Алтыбаев А. Н., Арынгазин К. Ш., Тулегулов А. Д, Аяп Р.**  
Павлодар облысының техногендік кен орындарын басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеудің теориялық алғышарттары мен перспективалары.....12

**Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н., Бахтиярова С. Е., Калтаев А. Г., Рахматуллаева С. С.**  
Қазақстан Республикасының әскери объектілерін энергиямен қамтамасыз ету жүйелері жұмысының энергия тиімділігін арттыру үшін жылу модулін енгізу .....24

**Ахмадия А. А., Мирманов А. Б., Набиев Н. К., Сериков Т. Г., Асаинов Г. Ж.**  
Табындық жылқы шаруашылығына арналған заманауи GPS–трекерлердің дербестілігі мен дәлдігін бағалау.....41

**Атякшева А. В., Рывкина Н. В., Матин И. Т., Атякшева А. Д.**  
Солтүстік Қазақстан жағдайларында көп қабатты қоршау конструкцияларында жылу беруге температуралық әсер қарқындылығының тәуелділігі туралы мәселеге .....55

**Глазырин С. А., Варламов Г. Б., Седнин А. В., Айдымбаева Ж. А.**  
Түтінің газдарын десульфаризациялау үшін ЖЭС қалдық суын пайдалану тиімділігін зерттеу .....64

**Жумалиева А. К., Бахтияр Б., Мерғалимова А. К., Жауыт А., Турсунбаева Г. У.**  
Станцияларда электрэнергиясын өндірудің технологиялық процестері .....78

**Исабеков Д. Д., Бекбауов А. Б., Талипов О. М., Бейсембаев М. К.**  
Электрқондырғылардың ток қорғау .....88

**Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантілесова А. Б., Акаев А. М., Ордабаев М. Е.**  
Таратушы электр желілеріндегі электр энергиясының коммерциялық шығындары.....97

**Кайдар А. Б., Исенов С. С., Исакоев Р. М., Шапкенов Б. Қ., Шерязов С. Қ.**  
Жел электр станцияларының жіктелуі және талдау ..... 111

**Калманова Д. М.**  
«Kazeosat -2» прототипі бойынша электрмен қамтамасыз етудің жүйесін дамыту on the prototype «Kazeosat -2» .....130

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

**Камарова С. Н., Онищенко О. Н., Жабалова Г. Г., Леликова О. Н., Абильдинова С. К.**  
Автоматты реттеу сирету «арселормиттал теміртау» АҚ ЖЭО-2 шарлы барабан диірмені.....139

**Керімхан Б. Т., Жумадиллаева А. К., Недзьведь А. М., Ильясова М. Т.**  
Динамикалық объектілердің қозғалыс карталары және орындалатын әрекеттер .....152

**Клецель М.Я., Барукин А.С., Машрапов Б. Е.**  
Айнымалы және тұрақты ток шиналарына жақын геркондарды бекітуге арналған конструкциялар.....164

**Қойшиев Т. К., Сыдыкова Г. К., Құрманбаев Ф. Б., Құлтан И. Б.**  
Shadow analyzer бағдарламалық жүйеде pv-күн технологиясының компьютерлік архитектурасын құру және визуализациялау.....176

**Колесников Е. Н., Новожилов А. Н., Рахимбердинова Д. М., Новожилов Т. А.**  
ЭҚМ қуат трансформаторының өзектерінің арасында орналасқан МТТ-ның тұнбалары .....187

**Қалдарова М. Ж., Аканова А. С., Кашкимбаева Н. М.**  
Ауылшаруашылық жерлерінің егіс алқаптарын сегменттеуде нейрондық желінің U-net архитектурасының қолданылуы .....198

**Мануковский А. В., Сағындық Ә. Б.**  
Күн-жел электр станцияларының жұмысының негізгі параметрлерін бақылау үшін тоқ датчиктерін таңдау .....212

**Мехтиев А. Д., Югай В. В., Алькина А. Д., Нешина Е. Г., Бражанова Д. К.**  
Сырттан жылу берілетін қозғалтқыштың құрылымын жетілдіру .....226

**Мусекенова Г. О., Мамонова И. В., Уразалимова Д. С., Попп Л. А., Золотарева С. В.**  
Электр энергетиканы басқаруда негізгі элементі ретінде ішкі бақылау .....239

**Мырзабаев Б. Б., Диваев К. М., Садықов С. Б., Галиев А. Б.**  
Кавитациялық әсердің судың физико-химиялық қасиеттеріне әсері.....251

**Нахан С. Н., Расмухаметова А. С., Карманов А. Е., Абжекеева А. З.**  
Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ, Қазақстан Республикасы, күн панельдерінің орналасуын басқаруды автоматтандыру күн электр станцияларының тиімділігін арттыру жолы ретінде.....263

**Никифоров А. С., Кинжибекова А. К., Нуркина Ш. М., Брусенко Ю. В.**  
Жапырақтар мен көмірден био көмір брикетінің жылу техникалық сипаттамаларын зерттеу .....274

**Огаркова А. И., Марковский В. П., Татмышевский К. В., Утегулов А. Б., Кошкин И. В.**  
Импульстік рефлексометрия әдісімен 6 (10) кв желінің кабельдік беру желісіндегі ақауға дейінгі қашықтықты өлшеудің екі жақты әдісін өзірлеу .....283

**Омарханова Д. Ж., Оралбекова Ж. О., Шолпанбаев Б. Б., Серикбаева А. Б.**  
Автоматтандырылған георадиолокациялық жүйе арқылы жер жабындарын зерттеу деректерін интерпретациялау .....297

**Сугиров Д. У., Ержанов К. Ш., Жайылхан Н. А., Суйменова М. К., Шайхиева К. М.,**  
Тегіс құбырлар шоғырында конвективті жылу алмасуды жоғарылатудың математикалық моделін құру .....308

**Тасанбаев С. Е., Арыстанбаев К. Е., Макажанов Б. Т.**  
Кездейсоқ параметрлерімен жүйеде қоздыруларды өтеудің сақтықтық алгоритмі .....322

**Фандюшин В. И., Деревягин С. И., Пудич Н. Н., Улихина Ю. В.**  
Доғалы болат балқыту пешінің қуат реттегішіне арналған түзету құрылғысы .....332

**Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В.**  
Сығылған азот өндірісінің технологиялық процесін автоматтандырудың ерекшеліктері .....341

**Шоланов Қ. С., Омаров А. С.**  
Модификацияланған зонттық желкенді жел электр станциясының параметрлерін зерттеу және таңдау .....351

Авторлар туралы ақпарат .....365

Авторларға арналған ережелер.....398

Жарияланым этикасы.....409

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Акишев К. М., Алтыбаев А. Н., Арынгазин К. Ш., Тулегулов А. Д., Аяп Р.</b> Теоретические предпосылки и перспективы разработки автоматизированной системы управления техногенными месторождениями Павлодарской области .....	12
<b>Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н., Бахтиярова С. Е., Калтаев А. Г., Рахматуллаева С. С.</b> Внедрение теплового модуля для повышения энергоэффективности работы систем энергообеспечения военных объектов Республики Казахстан .....	24
<b>Ахмадия А. А., Мирманов А. Б., Набиев Н. К., Сериков Т. Г., Асаинов Г. Ж.</b> Оценка автономности и точности современных GPS-трекеров для табунного коневодства .....	41
<b>Атякшева А. В., Рыбкина Н. В., Матин И. Т., Атякшева А. Д.</b> К вопросу о зависимости интенсивности температурного воздействия на теплопередачу в многослойных ограждающих конструкциях в условиях Северного Казахстана .....	55
<b>Глазырин С. А., Варламов Г. Б., Седнин А. В., Айдымбаева Ж. А.,</b> Исследование эффективности использования сточных вод тэс для десульфатизации дымовых газов.....	64
<b>Жумалиева А. К., Бахтияр Б., Мергалимова А. К., Жауыт А., Турсунбаева Г. У.</b> Технологические процессы производства электроэнергии на станциях .....	78
<b>Исабеков Д. Д., Бекбауов А. Б., Талипов О. М., Бейсембаев М. К.</b> Токовая защита электроустановок .....	88
<b>Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантлесова А. Б., Акаев А. М., Ордабаев М. Е.</b> Технические потери в распределительных электрических сетях .....	97
<b>Кайдар А. Б., Исенов С. С., Исаков Р. М., Шапкенов Б. К., Шерьязов С. К.</b> Классификация и анализ ветроэнергетических установок.....	111
<b>Калманова Д. М.</b> Разработка системы энергопитания на прототипе «Kazeosat -2» .....	130

<b>Камарова С. Н., Онищенко О. Н., Жабалова Г. Г., Леликова О. Н., Абильдинова С. К.</b> Автоматическое регулирование разряджения Шаровой барабанной мельницы ТЭЦ-2 АО «Арселормиттал Темиртау» .....	139
<b>Керімхан Б. Т., Жумадилаева А. К., Недзьведь А. М., Ильясова М. Т.</b> Карты движения и действия динамических объектов .....	152
<b>Клецель М. Я., Барукин А. С., Машрапов Б. Е.</b> Конструкции для крепления герконов вблизи шин переменного и постоянного тока.....	164
<b>Койшиев Т. К., Сыдыкова Г. К., Курманбаев Г. Б., Култан И. Б.</b> Создание и визуализация компьютерной архитектуры pv- солнечных технологий в программной системе shadow analyzer.....	176
<b>Колесников Е. Н., Новожилов А. Н., Рахимбердинова Д. М., Новожилов Т. А.</b> Моделирование ЭДС МТТ расположенного Между стержнями сердечника силового Трансформатора .....	187
<b>Калдарова М. Ж., Аканова А. С., Кашкимбаева Н. М.</b> Использование архитектуры U-net нейронной сети при сегментировании посевных площадей сельскохозяйственных угодий .....	198
<b>Мануковский А. В., Сагындык А. Б.</b> Выбор датчиков тока для мониторинга Работы солнечно-ветровых электростанций.....	212
<b>Мехтиев А. Д., Югай В. В., Алькина А. Д., Нешина Е. Г., Бражанова Д. К.</b> Совершенствование конструкции двигателя с внешним подводом теплоты .....	226
<b>Мусекенова Г. О., Мамонова И. В., Уразалимова Д. С., Попп Л. А., Золотарева С. В.</b> Внутренний контроль как ключевой элемент управления электроэнергетикой .....	239
<b>Мырзабай Б. Б., Досанов К. М., Садыхов С. Ф., Барлас А. Б.</b> Влияние кавитационного эффекта на физико-химические свойства воды .....	251
<b>Нахан С. Н., Расмухаметова А. С., Карманов А. Е., Абжекеева А. З.</b> Автоматизация управления положением солнечных панелей как путь повышения эффективности солнечных электростанций .....	263

**КЕРІ ҚАЙТАРЫЛҒАН / RETRACTED**

27.03.2023

<b>Никифоров А. С., Кинжибекова А. К., Нуркина Ш. М., Брусенко Ю. В.</b> Исследование теплотехнических характеристик биоугольного брикета из листьев и угля .....	274
<b>Озаркова А. И., Марковский В. П., Татмышевский К. В., Утегулов А. Б., Кошкин И. В.</b> Разработка двустороннего способа измерения расстояния до места дефекта в кабельной линии электропередачи сети .....	283
<b>Омарханова Д. Ж., Оралбекова Ж. О., Шолпанбаев Б. Б., Серикбаева А. Б.</b> Интерпретация данных исследования дорожных покрытий с применением автоматизированной георадиолокационной системы .....	297
<b>Сугиров Д. У., Суйменова М. К., Ержанов К. Ш., Шайхиева К. М., Жайылхан Н. А.</b> Составление математической модели повышения конвективного теплообмена в пучке гладких труб .....	308
<b>Тасанбаев С. Е., Арыстанбаев К. Е., Макажанов Б. Т.</b> Осторожный алгоритм компенсации возмущений в системе со случайными параметрами .....	322
<b>Фандюшин В. И., Деревягин С. И., Пудич Н. Н., Улихина Ю. В.</b> Устройство коррекции для регулятора мощности дуговой сталеплавильной печи .....	332
<b>Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В.</b> Особенности автоматизации технологического процесса производства сжатого азота .....	341
<b>Шоланов К. С., Омаров А. С.</b> Исследование и выбор параметров модифицированной ветровой электростанции с зонтовым парусом .....	351
Сведения о авторах .....	365
Правила для авторов .....	398
Публикационная этика .....	409

**CONTENT**

<b>Akishev K. M., Altybaev A. N., Aryngazin K.S., Tylegulov A. D., Ayap R.</b> Theoretical prerequisites and prospects for the development of an automated control system for technogenic deposits of the pavlodar region .....	12
<b>Alimgazin A. Sh., Berguzinov A. N., Bakhtiyarova S. E., Kaltayev A. G., Rakhmatullaeva S. S.</b> Introduction of a thermal module to improve the energy efficiency of the power supply systems of military facilities of the Republic of Kazakhstan .....	24
<b>Akhmediya A. A., Mirmanov A. B., Nabiyev N. K., Serikov T. G., Assainov G. Zh.</b> Assessment of the autonomy and accuracy of modern GPS trackers for herd horse breeding .....	41
<b>Atyaksheva A. V., Ryvkina N. V., Matin I. T., Atyaksheva A. D.</b> On the dependence of the temperature intensity of heat transfer in multilayer enclosure structures in the conditions of northern Kazakhstan .....	55
<b>Glazyrin S. A., Varlamov G. B., Sednin A. V., Aidymbayeva Zh. A.,</b> Effective use of storm water at tesfor desulfurization of smog gas .....	64
<b>Zhumaliyeva A. K., Bakhtiyar B., Mergalimova A. K., Zhaut A., Tursunbaeva G. U.</b> Technological processes of electricity generation at stations .....	78
<b>Issabekov D. D., Bekbauov A. B., Talipov O. M., Beisembayev M. K.</b> Overcurrent protection of electrical installations .....	88
<b>Issabekov J. B., Issabekova B. B., Zhantlessova A. B., Akaev A. M., Ordabayev M. E.</b> Commercial losses of electric energy in distributive electric networks .....	97
<b>Kaidar A. B., Issenov S. S., Iskakov R. M., Shapkenov B. K., Sheryazov S. K.</b> Classification and analysis of wind power plants .....	111
<b>Kalmanova D. M.</b> Development of an energy supply system based on the prototype «Kazeosat -2» .....	130
<b>Kamarova S. N., Onichshenko O. N., Zhabalova G. G., Lelikova O. N., Abildinova S. K.</b> Automatic discharge regulation ball drum mill CHP-2 JSC «arcelormittal Temirtau» .....	139
<b>Kerimkhan B. T., Zhumadillayeva A. K., Nedzvedz A. M., Ilyasova M. T.</b> Movement map and actions of dynamic objects .....	152

<b>Kletsel M. Ya. , Barukin A. S., Mashrapov B. E.</b> Designs for fastening reed switches near ac and dc busbars .....	164
<b>Koishiev T. K., Sydykova G. K., Kurmanbaev G. B., Kultan I. B.</b> Creation and visualization of pv-solar technology computer architecture in the shadow analyzer software system .....	176
<b>Kolesnikov E. N., Novozhilov A. N., Rakhimberdinova D. M., Novozhilov T. A.</b> Simulation of the emf of a mct located between the rods of the core of a power transformer .....	187
<b>Kaldarova M. Zh., Akanova A. S., Kashkimbayeva N. M.</b> Using the U-net architecture of a neural network when segmenting the acreage of agricultural land.....	198
<b>Manukovskii A. V., Sagyndyk A. B.</b> Selection of current sensors for monitoring Of working of solar-wind power plants.....	212
<b>Mekhtiev A. D., Yugay V. V., Alkina A. D., Neshina Y. G. , Brazhanova D. K.</b> Improvement of the engine design with external heat supply.....	226
<b>Musekenova G. O., Mamonova I. V., Urazalimova D. S., Popp L. A., Zolotareva S. V.</b> Internal control as a key element in electric power management.....	239
<b>Myrzakulov B. B., Buryayev K. M., Salykhov S. B., Sagyndyk A. B.</b> Influence of cavitation effect on physico-chemical properties of water.....	251
<b>Nahan S. N., Rasmukhametova A. S., Karmanov A. E., Abzhekeyeva A. Z.</b> Automation of position control of solar panels as a way to increase the efficiency of solar power plants .....	263
<b>Nikiforov A. S., Kinzhibekova A. K., Nurkina Sh. M., Brussenko Y. V.</b> Study of heat technical characteristics of a biocoal briquette from leaves and coal .....	274
<b>Ogarkova A. I., Markovskiy V. P. , Tatmyshevskiy K. V., Utegulov A. B., Koshkin I. V.</b> Development of a two-way method for measuring the distance to a defect in a cable transmission line of a 6 (10) kv network using the method of pulse reflectometry .....	283
<b>Omarkhanova D. Zh., Oralbekova Zh. O., Sholpanbaev B. B., Serikbaeva A. B.</b> Interpretation of the road surface research data using an automated georadolocation system.....	297
<b>Sugirov D. U., Suimenova M. K., Yerzhanov K. S., Shaikhieva K. M., Zhayilkhan N. A.</b> Drawing up a mathematical model of increasing convective heat transfer in a bundle of smooth pipes .....	308

<b>Tasanbayev S. E., Arystanbayev K. E., Makazhanov B. T.</b> Exact algorithm for compensation of disturbances a system with random parameters .....	322
<b>Fandyushin V. I., Derevyagin S. I., Pudich N. N., Ulikhina Yu. V.</b> Correction device for power regulator of arc stell-smelting furnace .....	332
<b>Khatsevskiy V. F., Gonenko T. V.</b> Features of compressed nitrogen production process automation.....	341
<b>Sholanov K. S., Omarov A. S.</b> Study and selection of parameters of the modified wind power station with an umbrella sail .....	351
Information about the authors.....	365
Rules for authors .....	398
Publication ethics.....	409

[doi.org/10.48081/NWP12153](https://doi.org/10.48081/NWP12153)

**\*К. М. Акишев<sup>1</sup>, А. Н. Алтыбаев<sup>2</sup>, К. Ш. Арынгазин<sup>3</sup>,  
А. Д. Тулегулов<sup>4</sup>, Р. Аяп<sup>5</sup>**

<sup>1,4,5</sup> Казахский университет технологии и бизнеса,

г. Астана, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Заведующий лабораторией энергообеспечения, информационных технологий и испытания машин, научно-производственного центра Агро-Инженерии, г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>3</sup>Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Данная статья продолжение статей подготовленных в рамках подпроекта №APP-SSG-17/0290P «Инновационные технологии использования твердых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики и металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов», финансируемого в рамках Проекта «Стимулирование продуктивных инноваций», поддерживаемого Всемирным Банком и Правительством Республики Казахстан. В статье рассматриваются исследования связанные с изучением техногенных отходов (ТМ), основная терминология, подходы, и теоретические предпосылки создания автоматизированной системой управления (АСУ)ТМ. Показаны проблемы связанные с функционированием, эксплуатацией и разработкой ТМ Павлодарской области. Представлены работы связанные с попытками систематизации управления, прогнозирования, формирования ТМ. Описанная актуальность исследования, представленный анализ состояния управления ТМ Павлодарской области, отсутствие научно обоснованных методов управления ТМ, требует решения задач по созданию методологии, принципов, способствующих разработке автоматизированной системой управления (АСУ)ТМ Павлодарской области, на основе информационно программного обеспечения,*

*позволяющего обеспечить контроль, прогнозирование, формирование и эксплуатацию ТМ Павлодарской области. Статья, будет полезна: специалистам занимающимся цифровыми информационными технологиями, исследователям техногенных месторождений, ученым решающим экологические проблемы, студентам, магистрантам, докторантам по специальности «автоматизация и управление», «информационные технологии», а также всем заинтересованным лицам.*

*Ключевые слова: автоматизированная система управления, техногенные месторождения, база данных, кадастровый паспорт, таблицы баз данных, методология, методы, оценка, прогнозирование.*

### **Введение**

Продолжающаяся непомерная эксплуатация природных ресурсов для производства электроэнергии, металлургической продукции вызывает в свою очередь неконтролируемое образование техногенных месторождений (ТМ).

В научно-технической литературе последних лет отмечается, что техногенные ресурсы являются в настоящее время значительной альтернативой природных ресурсов [1–9]. Авторами [7–9]. определено новое научное направление в области рационального природопользования и охраны окружающей среды – комплексное освоение техногенных месторождений (ТМ). В научной литературе широко используется определение термина «техногенные месторождения», сформулированное К.Н. Трубецким с соавторами [8]. «...скопления минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, представляющие собой отходы горного, обогатительного, металлургического и других производств и пригодные по количеству и качеству для промышленного использования, которое становится возможным по мере развития технологии его переработки и изменения экономических условий». Позднее этими же авторами дано следующее уточненное определение этого термина [9]. «Техногенные месторождения – техногенные образования, по количеству и качеству содержащегося минерального сырья пригодные для эффективного использования в сфере материального производства в настоящее время или в будущем (по мере развития науки и техники)». Ю. С. Юсфиним с соавторами [6] дано определение связанных с техногенными месторождениями терминов – «техногенные ресурсы» (ТР) и «техногенное сырье» (ТС):

«Техногенные (вторичные) ресурсы – материальные накопления сырья, веществ, материалов и продукции, образованные во всех видах производства и потребления, которые не могут быть использованы по прямому назначению, но потенциально пригодные для повторного использования в народном хозяйстве для получения сырья, изделий и/или энергии.

Что касается Казахстана за многолетний период интенсивного развития горно-металлургической отрасли количество накопленных отходов в черной металлургии составляет более 6,2 млрд., тонн, площадь занимаемая отходами составляет – более 15тыс.га [3]. а общее количество в горно-металлургической отрасли по разным оценкам составляет от 16 до 20 млрд.т минеральных промышленных отходов в виде отвалов вскрышных и вмещающих пород, складов забалансовых руд, металлургических шлаков, хвостов обогатительных фабрик [4]. А. И. Дараевым (2007) отмечаются в качестве значимых техногенных минеральных образований, которые могут быть переведены в разряд ТМ шлакоотвал Актюбинского завода ферросплавов площадью свыше 47 га и накоплениями свыше 6 млн. м<sup>3</sup>, хвостохранилище Жездинской ОФ площадью 32,3 га и мощностью техногенных отложений отходов обогащения марганцевых руд в 15 м и др.

По Казахстану в хранилища отходов горного, обогатительного и металлургического производств поступает ежегодно 30 млн.тонн сырья[2].

В Павлодарской области основными производителями техногенных отходов являются Павлодарский Алюминиевый завод, Аксуйский ферросплавный завод, ПФ ТОО «Кастинг», ПФ ТОО «KSPsteel», разрезы Экибастуза. На рисунках 1, 2, 3, 4 показаны спутниковые снимки шламохранилищ техногенных отходов Павлодарского Алюминиевого завода, Аксуйского ферросплавного завода, ПФ ТОО «Кастинг», отвалов Экибастуза.

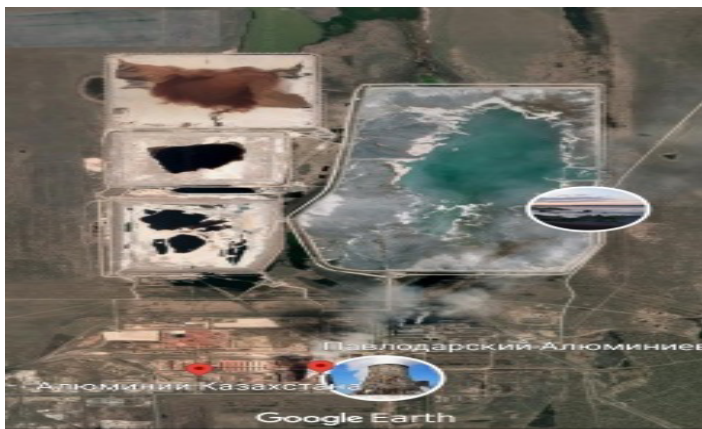


Рисунок 1 – Шламохранилища Павлодарского Алюминиевого завода



Рисунок 2 – Техногенное месторождение ПФ ТОО «Кастинг»



Рисунок 3 – Хранилище техногенных отходов Аксуйский завод Ферросплавов





Рисунок 4 – Отвалы с техногенными отходами Экибастуз

В таблице 1, показано расчетное количество техногенных отходов за складированное в шлакохранилище ПФ ТОО «KSPStel» и техногенном месторождении ПФ ТОО «Кастинг» на конец 2019г.

Таблица 1 – Расчетное количество техногенных отходов ПФ ТОО «KSPStel» и ПФ ТОО «Кастинг» хранящихся в шлакоотвалах.

Название предприятия	Производительность предприятия в тыс/год	Год открытия предприятия	Примерное количество произведенной стали тыс/тонн	Количество техногенных отходов тыс/тонн
ПФ ТОО «Кастинг»	300	2001	5400	23220*
ПФ ТОО «KSPStel»	800	2007	9600	41280*

Количество техногенных отходов принималась из расчета, что для производства 1 тонны стали, необходимо 4,7 тонн лома, отходы составляют 0,4 тонны [33].

В таблице 2, показано количество техногенных отходов за складированное в шлакохранилище Аксуйского завода ферросплавов.

Таблица 2 – Количество техногенных отходов хранящихся на шлакохранилище Аксуйского завода ферросплавов

Название предприятия	Год открытия предприятия	Количество произведенного ферросплавов тыс/тонн	Количество техногенных отходов тыс/тонн
Аксуйский завод ферросплавов	130	35000	>4000*

\*Данные получены из открытых источников

В таблице 3, показано расчетное количество техногенных отходов Павлодарского Аллюминиевого завода по состоянию на 2016год.

Таблица 3 – расчетное количество техногенных отходов хранящихся на хвостохранилищах Павлодарского Аллюминиевого завода

Название предприятия	Год открытия предприятия	Количество произведенного глинозема тыс/тонн	Количество техногенных отходов тыс/тонн
Павлодарский аллюминиевый завод	1964	60000	240000*

\*Количество техногенных отходов ПАЗ принято с учетом выхода готового глинозема с одной тонны боксита, не более 20 %.

В таблице 4, показано количество золошлаковых отходов Экибастузского угольного бассейна, по состоянию на 2016год.

Таблица 4 – Расчетное количество золошлаковых отходов по отношению к количеству добытого угля Экибастузского угольного бассейна [1].

Название предприятия	Промышленное освоение	Количество добытого угля тыс/тонн	Зольность угля %	Количество техногенных отходов тыс/тонн
Экибастузский угольный бассейн	1948	2000000	42 %	480000*

\*Количество добытого угля и золошлаковых отходов принято с учетом зольности Экибастузского угля, открытыми данными по добытому количеству угля на 2016 а также, с учетом экспорта 40 % добытого угля в Российскую федерацию.

### Материалы и методы

К основным методам исследования данного исследования относятся, системный анализ, математическое моделирование, кластерный анализ.

### Результаты

К сожалению, к настоящему времени в странах ЕАЭС не создано единой методологии исследования техногенных месторождений, ни соответствующей базы данных, ни систем управления ТМ, каждое из которых имеет свою специфику.

Одной из важнейших решаемых задач при работе с ТМ должен быть контроль и мониторинг состояния ТМ, позволяющий обеспечить, как надлежащую эксплуатацию, формирование, прогнозирование так и экологическую ситуацию в регионе расположения ТМ-это можно выполнить только с помощью разработки автоматизированной системы управления ТМ, которая необходима для качественной и количественной, а также технико-экономической оценки перспективы использования ТМ.

В настоящее время Российские научно-исследовательские институты, проводят детальное изучение техногенных месторождений с применением современных аналитических методов и созданием информационно-аналитической базы данных. Возникло новое научное направление «геохимия техногенных месторождений», занимающееся изучением изменения базовых элементов с точки зрения количества, формы существования, физических свойств, содержания попутных элементов и т.д. [10].

Чего не скажешь о Казахстане, где такие исследования в государственном масштабе не ведутся.

К примеру Мищенко А., в 80-х годах прошлого века, предложил классифицировать ТМ по следующим критериям:

1 «Общая географо-производственная характеристика (источник отходов, его местонахождение, наименование отходов, условия их образования и накопления, изученность»;

2 «Ресурсная характеристика (текущий и перспективный выход, запасы, емкость отвалов, затраты на удаление и складирование, землеемкость»);

3 «Качественная характеристика (физико-механические и химико-технологические свойства сырья и продукции из него»);

Полученные критерии позволяют получать количественную информацию о ТМ, но использование вычислительно-программного инструмента в работе Мищенко А, не представлено.

В работах российских ученых таких как: Соломенцев Ю.М. (2006), Мартинов Г.М.(2001), для решения задач исследования ТМ, предлагались стандартные архитектурные подходы на базе персональных компьютеров, программ с использованием математических аппаратов сетей Петри, операторных формул, математических моделей.

#### **Обсуждение**

В Казахстане, ТМ имеют ведомственную принадлежность, соответственно ответственность за содержание, эксплуатацию и т.д., целиком лежит на собственнике. Исследование ТМ в том, числе и работы по разработке АСУТМ в настоящее время не ведутся и не финансируются, за исключением исследований, техногенного сырья для использования в строительных материалах и в качестве вторичного сырья в металлургии.

#### **Выводы**

На сегодняшний день нет четких представлений, методик, научных исследований, о состоянии, тенденциях развития и управления ТМ в том числе и в Павлодарской области.

Главным же направлением будущих исследований является разработка научно обоснованных методологий, методов, принципов и рекомендаций, при создании автоматизированной системы управления ТМ Павлодарской области. На основании которой, можно будет создать платформу автоматизированной системы управления ТМ всего Казахстана.

С ростом промышленного производства Павлодарской области, актуальность создания автоматизированной системы управления ТМ только возрастает, это связано, прежде всего, необходимостью:

Решения экологических проблем Павлодарского региона;

Неконтролируемым ростом объемов техногенного сырья (ТС) металлургических предприятий и тепловых станций Павлодарской области;

Отсутствием современных методологий, методов и рекомендаций по прогнозированию, формированию и эксплуатации ТМ;

Необходимостью осуществления постоянного мониторинга за состоянием ТМ Павлодарской области;

Потребности в получении достоверных информационных данных по объемам, накоплениям, физико-химическому состоянию и т.д., ТМ Павлодарской области для оценки и принятия решений;

Создания платформы АСУ ТМ;

Использования современных информационно программных инструментов для разработки АСУТМ.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Акишев, К. М.** Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, по специальности 05.13.06-автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям), г. Бишкек, 2021.– 23 стр.

2 **Акишев, К. М., Арынгазин, К. Ш.** Анализ разработок использования техногенных отходов в строительных материалах. Материалы международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XIX Сатпаевские чтения», Павлодар, том 20, 2019.– С. 249–255.

3 **Акишев, К. М.** и др. Применение методов кластерного анализа для статистической оценки качества металлургического шлака Павлодарского филиала ТОО «КАСТИНГ». Проблемы автоматизации и управления. НАН КР, институт автоматизации и информационных технологий. №2(37), 2019.– С. 79–88.

4 **Акишев, К. М., Арынгазин, К. Ш.** и др. Учебно-Методическое пособие к курсовому проекту по дисциплине «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, ПЕРЕРАБОТКА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ». Павлодар: Издательство ToraighyrovUniversity.– 2019.–58 С. ISBN 978-601-345-014-8.

5 **Akishev, K.** and other. MATHEMATICAL FORMULATION AND THE PROBLEM SOLUTION OF CLUSTERING RECIPES OF CONCRETE MIXTURES USING TECHNOGENIC WASTE AND SLAGS OF METALLURGICAL ENTERPRISES. *Metallurjia*, 2022. 61(1)PP.213–216.

6 **Юсфин, Ю. С.** Промышленность и окружающая среда / Ю. С. Юсфин, Л. И. Леонтьев, П. И. Черноусов. – М. : ИКЦ «Академкнига». – 2002. – 469 с.

7 **Макаров, А. Б.** Техногенные месторождения минерального сырья // Соросовский образовательный журнал. № 8, Том 6, 2000. – С. 76–80.

8 **Трубецкой, К. Н.** Научное обоснование экологической доктрины России / К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко, Л. И. Бурцев // Горный журнал. № 4, 2005. – С. 5 – 8.

9 **Волынкина, Е. П.** Развитие концепции управления отходами и разработка методологии её реализации на металлургическом предприятии // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Новокузнецк, 2007. – 404 с.

10 **Фокин, С. А.** Реализация конституционных прав граждан на благоприятную окружающую среду// Вторичные ресурсы. № 2, 2005. – С. 2–4.

## REFERENCES

1 **Akishev, K. M.** Modeli I metodi analiza technologicheskikh system proizvodstva stroitel'nykh izdelii s ispolzovaniem technogennich otchodov. [Models and methods of analysis of technological systems for the production of construction products using man-made waste] // Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, specialty 05.13.06-automation of technological processes and production (by industry), Bishkek, 2021.– 23 p.

2 **Akishev, K. M., Aringazin, K. SH.** Analiz razrabotok ispolzovaniya ntchnogennich otchodov v stroitel'nykh materialakh. [Analysis of the use of man-made waste in building materials] // Materials of the international scientific conference of young scientists, undergraduates, students and schoolchildren «XIX Satpayev readings», Pavlodar, volume 20, 2019.– P. 249–255.

3 **Akishev, K. M.** and other. Primenenie metodov klaster'nogo analiza dlya statisticheskoi ocenki kachestva metallurgicheskogo shlaka pavlodarskogo filial TOO «Kasting» [Application of cluster analysis methods for statistical evaluation of the quality of metallurgical slag of the Pavlodar branch of CASTING LLP]

// Automation and control problems. NAS KR, Institute of Automation and Information Technologies. No. 2(37), 2019.– P.79–88.

4 **Akishev, K. M., Aringazin, K. Sh.** Ispolzovanie otchodov proizvodstva, pererabotka vtorichnogo siriya [USE OF PRODUCTION WASTE, RECYCLING OF SECONDARY RAW MATERIALS] // Educational and methodological guide to the course project on the discipline .Pavlodar: ToraighyrovUniversity Publishing House.– 2019.–58С. ISBN 978-601-345-014-8.

5 **Akishev, K.** and other. mathematical formulation and the problem solution of clusterin recipes of concrete mixtures using technogenic waste and slags of metallurgical enterprises. *Metallurjia*, 2022.61(1) P.213–216.

6 **Usfin, U. S.** promishlennost I okruzhaushaya sreda [Industry and environment] // Moscow : IKTS «Akademkniga». – 2002. – 469 p.

7 **Makorov, A. B.** Technogennie mestorozhdeniya mineralnogo siriya [Technogenic deposits of mineral raw materials] // Soros Educational Journal. No. 8, Volume 6, 2000. – P. 76–80.

8 **Trybezko, K. N.** Nauchnoe obosnovanie ekologicheskoi doktrini Rossii [Scientific substantiation of the ecological doctrine of Russia] // Mining Journal. No. 4, 2005. – P. 5–8.

9 **Volinkina, E. P.** Razvitie koncepcii upravleniya otchodami I razrabotka metodologii realizacii na metallurgicheskom predpriyatii [Development of the waste management concept and development of a methodology for its implementation at a metallurgical enterprise] // Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Novokuznetsk, 2007. – 404 p.

10 **Fokin, S. A.** Relizaciya konstitucionnich prav grazhdan na blagopriyatnyu okruzhaushuyu sredu [Realization of the constitutional rights of citizens to a favorable environment] // Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Novokuznetsk, 2007. – 404 p.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*К. М. Акишев<sup>1</sup>, А. Н. Алтыбаев<sup>2</sup>, К. Ш. Арынгазин<sup>3</sup>, Тулегулов<sup>4</sup> А.Д., Р. Аян<sup>5</sup>

<sup>1,4,5</sup>Қазақ технология және бизнес университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.,

<sup>2</sup>Энергиямен қамтамасыз ету, ақпараттық технологиялар және машиналарды сынау зертханасының меңгерушісі, Агро-инженерия ғылыми-өндірістік орталығы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

<sup>3</sup>Торайғыров университет, «Экостройнии-ПВ» ЖШС директоры, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.,

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

**ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ ТЕХНОГЕНДІК КЕН ОРЫНДАРЫН  
БАСҚАРУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН  
ӘЗІРЛЕУДІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ АЛҒЫШАРТТАРЫ МЕН  
ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ**

*Аталған мақала Дүниежүзілік банк пен Қазақстан Республикасының Үкіметі қолдау көрсететін «Өнімді инновацияларды ынталандыру» жобасы шеңберінде қаржыландырылатын «Павлодар облысының жылу энергетикасы және металлургия кәсіпорындарының қатты техногендік қалдықтарын құрылыс материалдары өндірісінде пайдаланудың инновациялық технологиялары» №APP-SSG-17/0290P кіші жобасы шеңберінде дайындалған баптардың жалғасы. Мақалада техногенді қалдықтарды (ТМ) зерттеумен байланысты зерттеулер, негізгі терминология, тәсілдер қарастырылады. автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) құрудың теориялық алғышарттары. Павлодар облысының ТМ жұмыс істеуіне, пайдалануына және әзірлеуіне байланысты проблемалар көрсетілген. Басқаруды жүйелеуге, болжауға, ТМ қалыптастыруға бағытталған жұмыстар ұсынылған. Зерттеудің сипатталған өзектілігі, Павлодар облысының ТМ басқарудың жасай-күйін талдау, ТМ басқарудың ғылыми негізделген әдістерінің болмауы Павлодар облысының ТМ бақылауды, болжауды, қалыптастыруды және пайдалануды қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін ақпараттық бағдарламалық қамтамасыз ету негізінде Павлодар облысының ТМ басқарудың автоматтандырылған жүйесін (АБЖ) әзірлеуге ықпал ететін әдіснаманы, қағидаттарды құру жөніндегі міндеттерді шешуді талап етеді. Мақала пайдалы болады: цифрлық ақпараттық технологиялармен айналысатын мамандарға, техногендік кен орындарын зерттеушілерге, экологиялық мәселелерді шешетін ғалымдарға, «Автоматтандыру және басқару», «ақпараттық технологиялар» мамандықтары бойынша студенттерге, магистранттарға, докторанттарға, сондай-ақ барлық мүдделі тұлғаларға.*

*Кілтті сөздер: басқарудың автоматтандырылған жүйесі, техногендік кен орындары, деректер базасы, кадастрлық паспорт, деректер базасының кестелері, әдіснамасы, әдістері, бағалау, болжау*

\*К. М. Akishev<sup>1</sup>, А. N. Altybaev<sup>2</sup>, K.S. Aryngazin<sup>3</sup>,  
Tylegulov<sup>4</sup> A. D, R. Ayap<sup>5</sup>  
<sup>1,4,5</sup> Kazakh University of Technology and Business,  
Republic of Kazakhstan, Astana,

<sup>2</sup>Head of the Laboratory of Energy Supply, Information Technology and Machine Testing, Scientific and Production Center of Agro-Engineering, Republic of Kazakhstan, Almaty,

<sup>3</sup>Toraighyrov University, Director of «Ecostroyinii-PV» LLP,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar,

Material received on 15.12.22

**THEORETICAL PREREQUISITES AND PROSPECTS FOR THE  
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR  
TECHNOGENIC DEPOSITS OF THE PAVLODAR REGION**

*This article is a continuation of the articles prepared within the framework of subproject No. ARP-SSG-17/0290P «Innovative technologies for the use of solid technogenic waste from heat power and metallurgy enterprises of Pavlodar region in the production of building materials», funded under the Project «Stimulating productive innovation», supported by the World Bank and the Government of the Republic of Kazakhstan. The article discusses research related to the study of technogenic waste (TM), basic terminology, approaches, and theoretical prerequisites for the creation of an automated control system (ACS) TM. The problems related to the functioning, operation and development of TM of Pavlodar region are shown. Works related to attempts to systematize management, forecasting, and TM formation are presented. The described relevance of the study, the presented analysis of the state of TM management in the Pavlodar region, the lack of scientifically sound methods of TM management, requires solving problems of creating a methodology, principles that contribute to the development of an automated control system (ACS) TM of the Pavlodar region, based on information software that allows to ensure control, forecasting, formation and operation of TM of the Pavlodar region. The article will be useful to: specialists engaged in digital information technologies, researchers of man-made deposits, scientists solving environmental problems, students, undergraduates, doctoral students in the specialty «automation and management», «information technology», as well as all interested persons.*

*Keywords: automated control system, technogenic deposits, database, cadastral passport, database tables, methodology, methods, assessment.*

\***А. Ш. Алимгазин<sup>1</sup>, А. Н. Бергузинов<sup>2</sup>,  
С. Е. Бахтиярова<sup>3</sup>, А. Г. Калтаев<sup>2</sup>, С. С. Рахматуллаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>«Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева»

г. Астана, Республика Казахстан

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

<sup>3</sup>«БМТУ», г. Астана, Республика Казахстан

## **ВНЕДРЕНИЕ ТЕПЛООВОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

*В статье рассмотрены вопросы внедрения энергоэффективного низкоуглеродного интеллектуального теплового модуля (НИТМ) на базе теплонасосной установки (ТНУ) с использованием возобновляемых и альтернативных источников энергии для повышения энергоэффективности как промышленных объектов в различных отраслях экономики, так и объектов социальной сферы, ЖКХ, агропромышленного комплекса и т.д. Республики Казахстан. Переход к низкоуглеродному развитию и декарбонизации национальной экономики Казахстана, включая отрасли, связанные с силовыми структурами, предполагает принятие кардинальных мер по повышению энергоэффективности и внедрения энергосберегающих технологий с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (далее – НВИЭ). Разработана и предлагаются конкретная технология и схемы НИТМ на базе парокомпрессионных и абсорбционных трансформаторов теплоты (ПиАТТ) с использованием различных НВИЭ (теплота грунтов, грунтовых и геотермальных вод, солнечная энергия, теплота вентиляционных выбросов, теплота сточных вод, избыточной сбросной теплоты промышленных предприятий и т.д.), для модернизации их систем теплохладоснабжения. По разработанной методике расчета проведены аналитические исследования одной из схем работы низкоуглеродного*

*интеллектуального теплового модуля с использованием теплоты грунта типового удаленного объекта военной инфраструктуры.*

*Ключевые слова: декарбонизация, интеллектуальный тепловой модуль, низкоуглеродные технологии, энергосбережение, возобновляемые источники энергии, теплонасосная установка, абсорбционные трансформаторы теплоты, интеллектуальная система управления.*

### **Введение**

Практический переход ведущих стран мира к новому технологическому укладу, основанному на принципах декарбонизации производства и углеродной нейтральности в рамках Парижского климатического соглашения, требует полного отказа от использования углеводородного сырья и технологий, обуславливающих глобальное изменение климата и разрушение экосистем планеты уже во второй половине нынешнего столетия [1–3].

По последним данным Казахстан входит в тридцатку стран-загрязнителей в глобальном рейтинге [1,2]. Согласно данным *The Global Carbon Atlas*, вклад Казахстана в глобальные выбросы двуокиси углерода по итогам 2019 года составил 314 мегатонн CO<sub>2</sub>. По объему выбросов двуокиси углерода Казахстан занял 21-е место среди более 221 страны.

Переход к низкоуглеродному развитию и декарбонизации национальных экономик ведущих стран мира предполагает принятие кардинальных мер по повышению энергоэффективности и внедрению новых низкоуглеродных технологий [1–3], при этом одними из самых эффективных технологий, как показывает мировая практика последних лет, являются ПиАТТ [3–16].

В настоящее время в Казахстане идет процесс принятия решений в области обоснования национальной позиции в климатическом переговорном процессе, реализации Концепции низкоуглеродного развития и достижения низкоуглеродной нейтральности до 2060 г.

### **Материалы и методы**

В последние годы в Республике Казахстан на государственном уровне уделяется большое внимание вопросам разработки и внедрения новых энергосберегающих и энергоэффективных технологий с использованием НВИЭ.

В период с 2012 по 2021 годы учеными НИИ «Энергосбережение и энергоэффективные технологии» Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева (далее ЕНУ им. Л. Н. Гумилева) разработаны и запатентованы основы уникальной энергосберегающей «зеленой» технологии на базе применения парокомпрессионной теплонасосной технологии в стационарной и блочно-модульной компоновке с использованием различных НВИЭ [17,18].

В отчете по итогам проведенного военно-научного исследования [19] отмечена установка «зеленое отопление» для энергообеспечения различных объектов.

Определены перспективы ее применения в интересах Вооруженных Сил Республики Казахстан – при проектировании систем отопления и вентиляции новых зданий Главного управления расквартирования войск (ГУРВ).

Для многих удаленных объектов Министерства обороны, Пограничной службы КНБ, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан (пограничные заставы, посты технического наблюдения войсковых частей и др.) актуальными являются вопросы их энергообеспечения, т. к. часто эти объекты расположены на существенном удалении от населенных пунктов, где имеется системы центрального тепло и электроснабжения.

Отечественными военными учеными рассмотрены вопросы применения автономных гибридных энергетических комплексов малой мощности (до 30 кВт) в совокупности с дублирующими автономными источниками электроэнергии, в частности – дизельными генераторами.

Однако, практически не исследованы вопросы применения энергоэффективных технологий на базе НВИЭ для решения *вопросов тепло- и хладоснабжения удаленных военных объектов*.

Обеспечению надежным тепло- и хладоснабжением таких удаленных объектов военной инфраструктуры, вопросам бесперебойной доставки основных видов топлива (мазут, печное и дизельное топливо, уголь) перед отопительным периодом уделяется большое внимание в силовых ведомствах.

Одним из перспективных путей решения этой проблемы энергообеспечения удаленных объектов является применение новых энергосберегающих экологически чистых технологий альтернативной энергетики, использующих в качестве источника теплоты вышеуказанные низкотемпературные НВИЭ [1–8].

При разработке предлагаемой технологии использованы как теоретические методы (исследование различных схем энергообеспечения, использования альтернативных источников энергии с применением НИТМ двойного назначения, расчеты по T-S диаграммам термодинамических характеристик их работы, диаграмм теплового баланса), так и расчетно-аналитические методы исследований перспектив и путей внедрения энергоэффективных низкоуглеродных технологий на базе НИТМ двойного назначения при модернизации систем тепло- электроснабжения удаленных военных объектов Республики Казахстан.

При оценке эффективности работы НИТМ на базе ТТТ с применением различных видов низкопотенциальной теплоты используется специальный коэффициент преобразования энергии COP (j), обозначающий во сколько

раз больше производится (тепловой) энергии в сравнении с затраченной (электрической энергией). Этот коэффициент для предлагаемых ТТТ находится в пределах от 3,6 до 8,0. Значение коэффициента зависит от температуры охлаждаемой воды (или другого низкопотенциального теплоносителя).

COP НИТМ определяется по формуле [3,4,18]:

$$\varphi = Q_{\text{конд}} / N_{\text{комп}} = \alpha \times T_{\text{конд}} / (T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}), \quad (1)$$

где  $Q_{\text{конд}}$  – теплота, отводимая от конденсатора;

$N_{\text{комп}}$  – мощность, потребляемая компрессором;

$T_{\text{конд}}$  – температура рабочего тела на выходе из конденсатора;

$T_{\text{исп}}$  – температура рабочего тела на выходе из испарителя;

$\alpha$  – суммарный коэффициент потерь устройства (потери цикла, потери в компрессоре, потери от необратимости при теплопередаче и т.п.).

На приведенной ниже таблице 1 даны среднегодовые значения коэффициента  $\varphi$  для различных температур охлаждаемой воды:

Таблица 1 – Значения  $\varphi$  для различных температур охлаждаемой среды [20]

(°C)	5	10	15	20	25	30	35	40
( $\varphi$ )	3,6	4,06	4,6	5,35	5,98	6,64	7,19	7,93

Проведены исследования перспективных схем использования НИТМ двойного назначения с вышеуказанными различными видами НВИЭ для типового удаленного объекта военной инфраструктуры. Изготовлен пилотный образец ИТМ двойного назначения с интеллектуальной системой мониторинга на базе ТТТ для системы энергоснабжения удаленного пилотного объекта Пограничного управления конкретного региона страны, планируется проведение тестирования его работы.

НИТМ двойного назначения [18,20], по месту соединяется двумя трубопроводами с различными источниками низкопотенциальной теплоты (подвод теплоносителя с температурой от +5 до 35 °C и его отвод после охлаждения), а также соединяется с двумя трубопроводами (подающая и обратная линии) системы теплоснабжения удаленного объекта.

К другим практическим достоинствам НИТМ двойного назначения является возможность использования утилизируемой теплоты вентиляционных выбросов, сбросной теплоты сточных вод, применив современные системы рекуперации тепла [18, 20].

Проведение исследований по применению НИТМ двойного назначения с использованием в качестве источника различных видов НВИЭ даст возможность [18,20]:

- применения альтернативных видов энергии для нужд теплоэлектроснабжения обособленных объектов конкретно выбранных регионов Республики Казахстан;

- оценка экономии органического топлива на действующих отдаленных объектах с помощью НИТМ двойного назначения (по схеме замещения тепловой нагрузки), что, в конечном итоге, происходит за счет полезного использования различных альтернативных источников энергии конкретно исследуемых регионов.

Создание и практическое применение интеллектуальных систем управления (ИСУ) в современных энергосберегающих технологиях и оборудовании, к которым относится и НИТМ двойного назначения, является одной из важнейших особенностей предлагаемой технологии.

Проведены исследования и оценка эффективности различных схем применения НИТМ с использованием различными НВИЭ [18].

#### Результаты и обсуждение

По разработанной методике расчета [18,20] проведены аналитические исследования одной из схем работы НИТМ с использованием теплоты грунта.

Длина вертикального грунтового теплообменника (ВГТ) зависит от свойств грунта и от характеристик теплонасосной системы. Рассмотрим принципиальную схему использования ВГТ в системе теплоснабжения с тепловым насосом (рисунок 1).

ВГТ содержит U-образный полиэтиленовый трубопровод, по которому циркулирует водный раствор гликоля, прокачиваемый циркуляционным насосом 6 через испаритель 3 теплового насоса. Кипящий в испарителе холодильный агент сжимается компрессором 2. Теплота конденсации отводится в конденсаторе 4 теплоносителем системы отопления 5, подаваемым насосом 7.

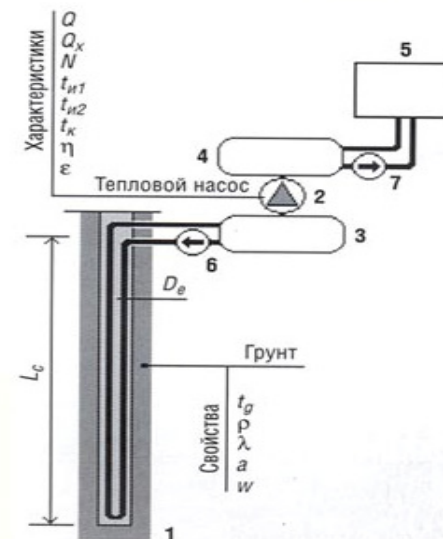


Рисунок 1 – Схема грунтового теплообменника – элемента НИТМ:

- 1-ВГТ, 2 – компрессор, 3 – испаритель, 4 – конденсатор,  
5 – система отопления, 6 –циркуляционный насос ВГТ,  
7 – насос ситемы отопления

Влияние на интенсивность теплообмена в грунте оказывают такие его свойства как температура  $t_g$  в естественном состоянии, плотность  $\rho$ , теплопроводность  $\lambda$ , температуропроводность  $\alpha$  и влажность  $w$ .

Не менее важную роль при определении длины теплообменника  $L_c$  играет величина его эквивалентного диаметра  $D_e$ , а также тепловая мощность  $Q$  теплового насоса. В случае использования ВГТ для отвода тепла в режиме кондиционирования необходимо учитывать холодильную мощность  $Q_x$  и электрическую мощность  $N$ . Интенсивность теплообмена в грунте в значительной степени определяется температурами жидкости  $t_{н1}$  и  $t_{н2}$  на входе в ВГТ и на выходе из него, а температура на выходе из конденсатора  $t_k$  является определяющей при определении коэффициентов преобразования теплового насоса  $\eta$  и холодильного коэффициента  $\epsilon$ , которыми характеризуется энергетическая эффективность системы.

Т. к. предполагается проведение работ по внедрению НИТМ на удаленных объектах силовых структур в различных климатических регионах Республики Казахстан, включая и объекты в горной местности, необходимо

для предварительного исследований иметь надежную методику инженерных расчетов ВГТ в различных грунтах при самых разнообразных внешних условиях.

В основу расчета положена простая физическая зависимость [18]

$$q = L_c - (t_g - t_w)/R, \quad (2)$$

в которую входят величина теплового потока  $q$ , длина скважин  $L_c$ , температуры грунта в естественном состоянии  $t_g$  и жидкости, циркулирующей в ВГТ  $t_w$ , а также линейное (отнесенное к одному метру длины скважины) сопротивление теплопередаче  $R$  от грунта к жидкости.

Общая длина скважин  $L_c$ , м, используемых для теплообмена с грунтом в системах теплоснабжения с тепловыми насосами, определяется по формуле (3), где используются следующие символы:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (q_H - N_{HP}) \cdot (R_b + k_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot k_{HL})}{t_g - 0,5 \cdot (t_{1H} + t_{2H}) - \Delta t} \quad (3)$$

$$q_a = 10^9 \cdot \frac{-Q_c \cdot \frac{\varepsilon+1}{\varepsilon} + Q_H \cdot \frac{\eta-1}{\eta}}{31536000} = 31,71 \left( -Q_c \cdot \frac{\varepsilon+1}{\varepsilon} + Q_H \cdot \frac{\eta-1}{\eta} \right), \quad (4)$$

где  $q_a$  – усредненная за год величина теплового потока, Вт, из грунта;

$R_{ga}$  – линейное термическое сопротивление грунта, м - К/Вт;

$q_H$  – проектная тепловая мощность, Вт, системы отопления;

$N_{HP}$  – электрическая мощность, Вт, теплового насоса;

$R_b$  – линейное термическое сопротивление, м – К/Вт, скважины;

$k_m$  – коэффициент, усредняющий пиковую тепловую нагрузку;

$R_{gm}$  – линейное термическое сопротивление, м – К/Вт, грунта в течение расчетного месяца;

$R_{gd}$  – линейное термическое сопротивление, м – К/Вт, грунта в течение расчетного дня;

$k_{HL}$  – коэффициент, учитывающий тепловые потери, который принимают равным 1,04;

$t_{2H}$ ,  $t_{1H}$  – температуры, °С, жидкости на входе в скважину и на выходе из нее;

$t_g$  – естественная температура, °С, грунта;

$\Delta_t$  – поправка, °С, учитывающая влияние на теплообмен соседних скважин, если расстояние между ними менее 6 метров.

Усредненная за год величина теплового потока  $q_a$ , Вт, в грунт определяется по формуле (4),

где  $Q_c$  – годовая потребность в холоде, ГДж;

$Q_H$  – годовая потребность в тепле, ГДж;

31536000 – количество секунд в году.

$\varepsilon$  и  $\eta$  – холодильный коэффициент и коэффициент преобразования теплового насоса, определяемые по каталогам оборудования при расчетных температурах кипения и конденсации холодильного агента.

При обсуждении преимуществ использования ВГТ совместно с тепловым насосом всегда обращают внимание на возможность использования грунтового массива летом при отведении в него теплоты конденсации от холодильных машин системы кондиционирования. То, что при этом тепловой поток из грунта зимой возрастает, очевидно, но зависимость (4) позволяет оценить это возрастание количественно.

Линейное термическое сопротивление грунта  $R_{ga}$ , м·К/Вт, определяется по формуле:

$$R_{ga} = G/\lambda, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность грунта, Вт/(К·м),

$G$  – фактор, учитывающий нестационарность теплообмена в грунте при сменяющихся циклах направления теплового потока от цилиндрического теплообменника в грунт и от грунта к теплообменнику. Величина этого фактора связана с критерием Фурье  $Fo$ :

$$G=f(Fo) \quad (6)$$

Как известно, число Фурье – это один из критериев подобия нестационарных тепловых процессов, которым характеризуется соотношение между скоростью изменения тепловых условий в окружающей среде и скоростью перестройки температурного поля внутри рассматриваемой системы. Число Фурье зависит от размеров тела и коэффициента его теплопроводности. Применительно к рассматриваемой задаче:

$$Fo = (\alpha t)/d^2 \quad (7)$$

где  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности грунта, м<sup>2</sup>/сут;

$\tau$  – цикл в сутках, в течение которого происходит изменение направления теплового потока;



$d$  – эквивалентный диаметр, м, одного U-образного трубопровода ВГТ, определяемый по табл. 1 [18].

Нужно вычислять число Фурье трижды, поскольку оно влияет на величины  $R_{ga}$ ,  $R_{gm}$  и  $R_{gd}$ . Авторами методики рекомендуют при этом задаваться значениями  $\tau = 3650, 30$  и  $0,25$  суток соответственно, что отвечает интервалам времени в десять лет, один месяц и шесть часов.

Данные о теплопроводности и о температуропроводности песчаного и глиняного грунтов представлены в таблице [13]. Все остальные типы грунтов могут рассматриваться по признаку термических свойств как комбинация в различных пропорциях песка и глины, и соответствующие величины определяют, пользуясь данными таблицы 2, посредством интерполяции.

Плотность  $\rho$ , влажность  $w$ , коэффициенты теплопроводности  $\lambda$ , и температуропроводности  $\alpha$  грунтов, характерных для г. Астаны.

После того, как вычислен критерий  $Fo$ , нужно определить вспомогательную величину  $G$ , зависимость которой от  $Fo$  представлена графически в виде диаграммы в логарифмических осях координат. Пользуясь Excel, нетрудно представить эту эмпирическую зависимость аналитически:

$$G = 0,0756 - \ln(Fo) + 0,0927 \quad (8)$$

Линейное термическое сопротивление  $R_b$ , м·К/Вт, материала, заполняющего скважину, принимают по табл. 4, если скважина заполнена грунтом, вынутым из скважины при бурении. К величине  $R_b$ , определенной по табл. 4, вводят поправку (табл. 5), если скважина заполнена раствором, теплопроводность которого отличается от теплопроводности окружающего скважину грунта.

Величину коэффициента  $k_t$ , усредняющего пиковую тепловую нагрузку, определяют по формуле:

$$k_m = 10^9 \cdot \frac{Q_H}{Q_H \cdot z} \quad (9)$$

где  $z$  – количество секунд отопительного периода.

Величины эффективного линейного термического сопротивления,  $R_{gm}$ , и  $R_{gd}$ , м·К/Вт, грунта в течение расчетного месяца и расчетных суток определяют по формулам (5)...(7) при соответствующих значениях  $\tau = 30$  и  $\tau = 0,25$ .

Значения тепловых нагрузок  $q_H$  и  $q_c$ , а также температур грунта  $t_g$  принимают по данным проекта. Температуру  $t_{2и}$  и охлажденной в испарителе теплового насоса гликоля рекомендуется рассчитывать по формуле (3),

исходя из заданных значений коэффициента преобразования и температуры теплоносителя в системе отопления, а температуру  $t_{II}$  гликоля на выходе из ВГТ принимают на  $5^\circ\text{C}$  выше.

Таким образом, все символы основной расчетной формулы (3) объяснены.

Влияние исходных данных на результат расчета

Рассмотрим, как влияет на величину теплового потока к ВГТ от грунта его теплопроводность.

Наш пример расчета был выполнен для грунта с теплопроводностью  $\lambda = 2,076$  Вт/(К·м), и удельный тепловой поток составлял при этом  $q_{уд} = 41,4$  Вт. На рис. 9 показана функция  $q_{уд} = f(\lambda)$  при неизменных прочих условиях расчета.

При использовании ВГТ летом в режиме отведения теплоты от холодильных машин системы кондиционирования эффективность грунтовых теплообменников, работающих зимой совместно с тепловым насосом, возрастает. Кривая на рисунке 2 показывает характер зависимости удельного теплового потока от грунта к ВГТ зимой от отношения годовой потребности здания в холоде к годовой его потребности в тепле для отопления.

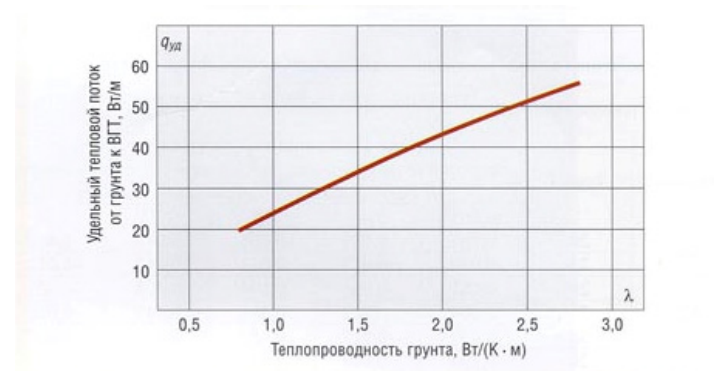


Рисунок 2 – Характер изменения величины удельного потока к ВГТ от грунтов с различной теплопроводностью

На практике при сооружении грунтовых тепловых насосов обычно применяют ВГТ с двумя U-образными полиэтиленовыми трубами, установленными в одной скважине. Математическая модель позволяет оценить эффективность такого технического решения (рисунок 3). Значения удельного теплового потока в левом и правом столбиках диаграммы вычислены при значениях эквивалентного диаметра ВГТ, соответствующих

конструктивному исполнению теплообменника с одной и с двумя U-образными трубами.

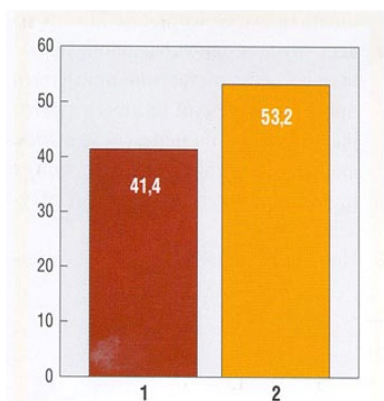


Рисунок 3 – Характер изменения величины удельного теплового потока, Вт/м, от количества установленных в ВГТ U-образных труб: 1 – одна U-образная труба; 2 – две U-образных трубы

Необходимо отметить, что рисунки 2–3 отображают не абсолютные величины удельного теплового потока от грунта к ВГТ, а характер изменения этих величин от одного из аргументов.

Определять длину вертикальных грунтовых теплообменников рекомендуется по формуле (3)

### Выводы

Переход к низкоуглеродному развитию и декарбонизации национальной экономики Казахстана, включая отрасли, связанные с силовыми структурами, предполагает принятие кардинальных мер по повышению энергоэффективности и внедрения энергосберегающих технологий с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Разработана и предлагается технология на базе парокомпрессионных и абсорбционных трансформаторов теплоты с использованием различных НВИЭ (теплота грунтов, грунтовых и геотермальных вод, солнечная энергия, теплота вентиляционных выбросов, теплота сточных вод, избыточной сбросной теплоты промышленных предприятий и т.д.), для модернизации их систем тепло-хладоснабжения. Предложена методика инженерных расчетов ВГТ в различных грунтах при самых разнообразных внешних условиях. По разработанной методике расчета проведены аналитические исследования одной из схем работы НИТМ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Сафонов Г. В., Есекина Б., Туебекова Ш.** Декарбонизация национальной экономики: стратегии и сценарии. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия общественных и гуманитарных наук. 2017. Т. 313. № 3. С. 13–22.

2 Decarbonization of Economy's Extractive Sectors of the Republic of Kazakhstan / Under edition Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences S. Daukei – Nur-Sultan: Bi-PRINT, 2021 – 265 p.

3 **Рей Д., Макмайкл Д.** Тепловые насосы / пер. с англ. – М. : Энергоиздат, 1982. – 224 с.

4 **Хайнрих Г.** и др. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / пер. с нем. Н. Кораблевой, под ред. Б. Явнеля. – М. : Стройиздат, 1985. – 351 с.

5 Обзор рынка тепловых насосов в Швеции, Финляндии // АВОК. – 2002. – № 1. – С. 40–41.

6 **Бурдуков А. П., Петин Ю. М.** Тепловые насосы для России: технология использования геотермального и сбросного тепла предприятиями // Оборудование. Разработки. Технологии. – 2007. – № 7 (07). – С. 27–32.

7 **Бубялис Э., Марцинаускас К., Шкема Р.** Возможности и перспективы применения тепловых насосов в производстве низкопотенциальной теплоты // Промышленная энергетика. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 15–18.

8 **Данилов В. В.** Повышение эффективности системы централизованного теплоснабжения на основе применения технологии тепловых насосов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2000. – № 2. – С. 5–14.

9 **Петин Ю. М.** Опыт десятилетия производства тепловых насосов в ЗАО «Энергия» // Энергетическая политика. – 2001. – Вып. 3. – С. 28–33.

10 **Бараненко А. В., Тимофеевский Л. С., Долотов А. Г., Попов А. В.** Абсорбционные преобразователи теплоты: Монография. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2005. – 338 с.

11 **Романюк В. Н., Бобич А. А., Муслина Д. Б., Коломыцкая Н. А., Мальков С. В., Бубырь Т. В.** Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения её энергетической эффективности // Энергия и Менеджмент. – 2013. – № 1. – С. 14–19.

12 **Wei Wu, Baolong Wang, Wenxing Shi, Xianting Li** Absorption heating technologies: A review and perspective / Applied Energy 130, 2014, P. 51–71

13 **Jian S., Lin F., Shigang Zh.** Experimental study of heat exchanger basing on absorption cycle for CHP system // Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 102. P. 1280–1286.

14 **Xiaoyun X., Yi J.** Absorption heat exchangers for long-distance heat transportation // *Energy*. 2017. Vol. 141. P. 2242–2250

15 Dorothee Keppler Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration supply regime: Factors of influence on their further diffusion: *Journal of Cleaner Production* 172 (2018) P. 1535–1544

16 **Zhiqiang Liu, Nan Xie, Sheng Yang.** Thermodynamic and parametric analysis of a coupled LiBr/H<sub>2</sub>O absorption chiller/Kalina cycle for cascade utilization of low-grade waste heat: *Energy Conversion and Management* Volume 205, 1 February 2020, P.112370

17 **Алимгазин А. Ш., Бергузинов А. Н.** Применение технологии «Зеленое отопление» для энергообеспечения объекта «Центр исследования энергии» международной выставки «ЕХРО-2017» // *Вестник ПГУ им.С.Торайғырова, серия «Энергетическая»*. – 2017. – № 1. – С.21–28.

18 **Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г.** Разработка технологий и внедрение теплонасосных систем теплоснабжения жилых, общественных и производственных зданий в Республике Казахстан с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии // *Астана: Изд-во «Артпринт»*, 2010. – 171 с.

19 Отчет по итогам военно-научного исследования специализированной Международной выставки ЕХРО–2017 (г.Астана) в период проведения выставки с 8 по 11 августа 2017 г. – 2017 г., 77 с.

20 **Филатов С. О.** Тепловой расчет вертикальных грунтовых теплообменников // *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – Энергетика: международный научно-технический журнал* – 2013. – № 4. – С. 81–91.

## REFERENCES

1 **Safonov, G. V., Yesekina, B., Tuebekova, Sh.** Dekarbonizaciya nacional'noj ekonomiki: strategii i scenarii [Decarbonization of the national economy: strategies and scenarios] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. A series of social sciences and humanities*. 2017. Vol. 313. No. 3. P. 13–22.

2 Dekarbonizaciya dobyvayushchih otraslej ekonomiki Respubliki Kazahstan [Decarbonization of extractive industries of the economy of the Republic of Kazakhstan] / Ed.Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, prof. S.Zh. Daukeeva. – Nur-Sultan: Bi-PRINT, 2021. – 295 p.

3 **Ray, D., McMichael, D.** Teplovy'e nasosy' [Heat pumps] // translation from English. – Moscow: Energoizdat, 1982. – 224 p.

4 **Heinrich, G.** et al. Teplonasosny'e ustanovki dlya otopleniya i goryachego vo-dosnabzheniya [Heat pump installations for heating and hot water supply] / translation from German him N. Korableva, ed. B. Yavnel. – Moscow. : Stroyizdat, 1985. – 351 p.

5 Obzor ry'nka teplovy'kh nasosov v Shveczii, Finlyandii [Market overview of heat pumps in Sweden, Finland] // *АВОК*. – 2002. – No. 1. – P. 40–41.

6 **Burdukov, A. P., Petin, Yu. M.** Teplovy'e nasosy' dlya Rossii: tekhnologiya ispol'zovaniya geotermal'nogo i sbrosnogo tepla predpriyatiyami [Heat pumps for Russia: technology for the use of geothermal and waste heat by enterprises] // *Equipment. Developments. Technology*. – 2007. – No. 7 (07). – P.27–32.

7 **Bubalis, E., Marcinauskas, K., Shkema, R.** Vozmozhnosti i perspektivy' primeneniya teplovy'kh nasosov v proizvodstve nizkopotencial'noj teploty' [Opportunities and prospects for the use of heat pumps in the production of low-grade heat] // *Industrial Energy*. – 2000. – T.22, No. 3. – P. 15-18.

8 **Danilov, V. V.** Povy'shenie e'ffektivnosti sistemy' czentralizovannogo teplosnabzheniya na osnove primeneniya tekhnologii teplovy'kh nasosov [Improving the efficiency of the district heating system based on the use of heat pump technology] // *Energy saving and water treatment*. – 2000. – No. 2. – P. 5–14.

9 **Petin, Yu. M.** Opy't desyatiletiya proizvodstva teplovy'kh nasosov v ZAO «E'nergiya» [Experience of a decade of production of heat pumps in CJSC Energia] // *Energy Policy*. – 2001. – Issue 3. – P. 28–33.

10 **Baranenko, A. V., Timofeevsky, L. S., Dolotov, A. G., Popov, A. V.** Absorbzionny'e preobrazovateli teploty': Monografiya [Absorption heat converters: Monograph] – St. Petersburg: SPbGUNIPT, 2005. – 338 p.

11 **Romanyuk, V. N., Bobich, A. A., Muslina, D. B., Kolomytskaya, N. A., Malkov, S. V., Buby, T. V.** Absorbzionny'e teplovy'e nasosy' v teplovoj skheme TE`Cz dlya povy'sheniya eyo e'nergeticheskoy e'ffektivnosti [Absorption heat pumps in the heat circuit of a thermal power plant to increase its energy efficiency] // *Energy and Management*. – 2013. – No. 1. – P. 14–19.

12 **Wei Wu, Baolong Wang, Wenxing Shi, Xianting Li** Absorption heating technologies: A review and perspective / *Applied Energy* 130, 2014, P. 51–71

13 **Jian, S., Lin, F., Shigang, Zh.** Experimental study of heat exchanger basing on absorption cycle for CHP system // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 102. P. 1280 – 1286.

14 **Xiaoyun, X., Yi J.** Absorption heat exchangers for long-distance heat transportation // *Energy*. 2017. Vol. 141. P. 2242–2250

15 Dorothee Keppler Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration supply regime: Factors of influence on their further diffusion: *Journal of Cleaner Production* 172 (2018) P. 1535–1544

16 **Zhiqiang Liu, Nan Xie, Sheng Yang** Thermodynamic and parametric analysis of a coupled LiBr/H<sub>2</sub>O absorptionchiller/Kalina cycle for cascade utilization of low-grade waste heat: Energy Conversion and Management Volume 205, 1 February 2020, P.112370

17 **Alimgazin, A. Sh., Berguzinov, A. N.** Primenenie tekhnologii «Zelenoe otoplenie» dlya energoobespecheniya ob'ekta «Czentr issledovaniya energii» mezhdunarodnoj vy'stavki «EKhRO-2017» [Application of «Green Heating» technology for energy supply of the facility «Energy Research Center» of the international exhibition «EXPO-2017»] // Bulletin of PSU named after S. Toraigyrov, series «Energy». – 2017. – No 1. – P. 21–28.

18 **Alimgazin, A. Sh., Alimgazina, S. G.** Razrabotka tekhnologij i vnedrenie teplonasosny'kh sistem teplosnabzheniya zhily'kh, obshhestvenny'kh i proizvodstvenny'kh zdaniy v Respublike Kazakhstan s ispol'zovaniem netradiczionny'kh i vozobnovlyaemy'kh istochnikov energii [Development of technologies and implementation of heat pump systems for heat supply of residential, public and industrial buildings in the Republic of Kazakhstan using non-traditional and renewable energy sources] // Astana: Artprint Publishing House, 2010. – 171 p.

19 Otchet po itogam voenno-nauchnogo issledovaniya speczializirovannoj Mezhdunarodnoj vy'stavki EKhRO-2017 (g.Astana) v period povedeniya vy'stavki s 8 po 11 avgusta 2017 g. – 2017, 77 p.

20 **Filatov, S. O.** Teplovoj raschet vertikal'ny'kh gruntovy'kh teploobmennikov [Thermal calculation of vertical ground heat exchangers] // News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. – Energy: international scientific and technical journal – 2013. – No. 4. – P. 81–91.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*А. Ш. Алимгазин<sup>1</sup>, А. Н. Бергузинов<sup>2</sup>, С. Е. Бахтиярова<sup>3</sup>,  
А. Г. Калтаев<sup>2</sup>, С. С. Рахматуллаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.,  
Қазақстан Республикасы;

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

<sup>3</sup>«БМТУ» ЖШС, г. Астана, Республика Казахстан

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ӘСКЕРИ ОБЪЕКТІЛЕРІН ЭНЕРГИЯМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖҮЙЕЛЕРІ ЖҰМЫСЫНЫҢ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ЖЫЛУ МОДУЛІН ЕНГІЗУ

Мақалада экономиканың әртүрлі салаларындағы өнеркәсіптік объектілердің, сондай-ақ әлеуметтік сала, ТКШ, агроөнеркәсіптік кешен және т.б. объектілердің энергия тиімділігін арттыру үшін жаңартылатын және баламалы энергия көздерін пайдалана отырып, жылу сорғы қондырғысы базасында энергия тиімді төмен көміртекті интеллектуалды жылу модулін енгізу мәселелері қаралды. Күш құрылымдарымен байланысты салаларды қоса алғанда, Қазақстанның ұлттық экономикасын төмен көміртекті дамытуға және декарбонизациялауға қошу энергия тиімділігін арттыру және дәстүрлі емес және жаңартылатын энергия көздерін пайдалана отырып, энергия үнемдейтін технологияларды енгізу жөнінде түбегейлі шаралар қабылдауды болжайды. Жылумен-салқындатумен жабдықтау жүйелерін жаңғырту үшін әртүрлі НВИЭ (топырақтың, жер асты және геотермалдық сулардың жылуы, күн энергиясы, желдету шығарындыларының жылуы, сарқынды сулардың жылуы, өнеркәсіптік кәсіпорындардың артық ағызу жылуы және т.б.) пайдалана отырып, бу компрессиялық және сіңіргіш жылу трансформаторлары негізінде нақты технология мен төмен көміртекті интеллектуалды жылу модульді схемалары әзірленді және ұсынылады. Әзірленген есептеу әдістемесі бойынша әскери инфрақұрылымның типтік қашықтағы объектісінің топырақ жылуын пайдалана отырып, төмен көміртекті зияткерлік жылу модулінің жұмыс схемаларының біріне аналитикалық зерттеулер жүргізілді.

Кілтті сөздер: декарбонизация, интеллектуалды жылу модулі, төмен көміртекті технология, энергияны үнемдеу, жаңартылатын энергия көздері, жылу сорғы қондырғысы, сіңіргіш жылу трансформаторлары, интеллектуалды басқару жүйесі.

\*А. Ш. Алимгазин<sup>1</sup>, А. Н. Бергузинов<sup>2</sup>, С. Е. Бахтиярова<sup>3</sup>,  
А. Г. Калтаев<sup>2</sup>, С. С. Рахматуллаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,  
Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Toraigyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup>«BMTU» LLP, Astana, Republic of Kazakhstan

Material received on 15.12.22

## INTRODUCTION OF A THERMAL MODULE TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE POWER SUPPLY SYSTEMS OF MILITARY FACILITIES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

*The article discusses the implementation of an energy-efficient low-carbon intelligent thermal module (NITM) based on a heat pump unit (TNU) using renewable and alternative energy sources to improve the energy efficiency of industrial facilities in various sectors of the economy, as well as social facilities, housing and communal services, agro-industrial complex, etc. of the Republic of Kazakhstan. The transition to low-carbon development and decarbonization of the national economy of Kazakhstan, including industries related to law enforcement agencies, involves the adoption of cardinal measures to improve energy efficiency and the introduction of energy-saving technologies using unconventional and renewable energy sources (hereinafter - NVE). A specific technology and schemes of NITM based on steam compression and absorption heat transformers (PiATT) using various NIE (heat of soils, ground and geothermal waters, solar energy, heat of ventilation emissions, heat of wastewater, excess waste heat of industrial enterprises, etc.) have been developed and proposed for the modernization of their heat and cooling systems. According to the developed calculation methodology, analytical studies of one of the schemes of operation of a low-carbon intelligent thermal module using the heat of the soil of a typical remote military infrastructure facility were carried out.*

*Keywords: decarbonization, intelligent thermal module, low-carbon technologies, energy saving, renewable energy sources, heat pump installation, heat absorption transformers, intelligent control system.*

FTAMP 49.31.31

[doi.org/10.48081/LSJP5709](https://doi.org/10.48081/LSJP5709)

**\*А. А. Ахмадия<sup>1</sup>, А. Б. Мирманов<sup>1</sup>, Н. К. Набиев<sup>1</sup>,  
Т. Г. Сериков<sup>1</sup>, Г. Ж. Асаинов<sup>1</sup>**

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

## **ТАБЫНДЫҚ ЖЫЛҚЫ ШАРУАШЫЛЫҒЫНА АРНАЛҒАН ЗАМАНАУИ GPS–ТРЕКЕРЛЕРДІҢ ДЕРБЕСТІЛІГІ МЕН ДӘЛДІГІН БАҒАЛАУ**

Табынышлардың жұмысын заманауи GPS трекерлерін қолдану арқылы жеңілдетуге болады. Нарық жасануларды бақылайтын GPS трекерлерінің алуан түрін ұсынады, трекерлер жетілдірілуде, ұялы телефоннан спутниктік байланысқа дейінгі GPS деректерін жіберу арналары көбейіп келеді. GPS координаттарын бағалаудың дербестігі мен дәлдігі, трекерлерге қызмет көрсету және пайдалану ыңғайлылығы табынышлар мен шаруа қожалықтарының иелері үшін өте маңызды болып табылады. Қазіргі уақытта жылқыларды бақылау үшін GPS трекерлерінде өте аз зерттеулер ұсынылған, өндірушілердің тікелей табынышлардың талаптарына жеткілікті көңіл бөлінбейді. Бұл мақалада Қазақстан Республикасының жылқы шаруашылықтарында заманауи GPS–трекерлерді салыстырмалы бағалау жүргізілді, сондай-ақ GPS координаттары мен дербестігін өлшеу қателігі сияқты негізгі сипаттамалар есептелді. Алғаш рет GPS деректерін арналар арқылы берудің әртүрлі принципі бойынша жұмыс істейтін трекерлер бағаланды: GSM, LoRa, VHF, спутниктік байланыс. Зерттеу кезінде қуат пен автономияны есептеу үшін тоқты өлшеу құралдары қолданылды. GPS координаттарының дәлдігін бағалау барлық 5 түрлі трекер орнатылған бақылау координаттарымен анықталды. Зерттеу нәтижелері GPS өлшеудің есептелген мәндерінің 98 % ықтималдықпен дәлдігін және дербестігін көрсетті. Трекерлер нағыз жылқы фермаларында далада сынақтан өтті.

*Кілтті сөздер: трекерлер, GPS, дербестілік, дәлдік, табындық жылқы шаруашылығы.*

**Кіріспе**

Жыл бойы немесе маусымдық жайылымда ұсталатын табын жылқы шаруашылығы Қазақстан Республикасында жайылымның негізгі нысаны болып табылады. 2021 жылға арналған ресми статистикаға сәйкес жылқылардың саны 3 миллион 180 мыңнан асты, бұл жылқы ұрлығынан болған шығынды есептемегенде. Жылқыларды немесе тұтас табындарды ұрлау нәтижесінде, егер кенеттен шығындар табынның 10% – дан аспайтын болса, онда бұл кейбір ірі және орта шаруа қожалықтары (ШҚ) үшін норма және қолайлы шығын болып саналады. Мұндай мәселе көп жағдайда қарапайым дәстүрлі әдіспен, ауыстырылатын табыншылар санының артуымен және бақылаудың жоғары жиілігімен шешіледі. Негізінде табынның қызметі тек қорғалумен шектеледі мал, жайылым және дақылдарды мордантақ жол бермеу. Мұндай бақылаудағы адам факторы маңызды рөл атқарады, өйткені ұзақ жайылым және ұзақ қашықтықты өту табындардың шамадан тыс шаршауына әкеледі. Табыншылардың жұмысын заманауи GPS трекерлерін қолдану арқылы жеңілдетуге болады. Нарық жануарларды бақылайтын GPS трекерлерінің алуан түрін ұсынады, трекерлер жетілдірілуде, ұялы телефоннан спутниктік байланысқа дейінгі GPS деректерін жіберу арналары көбейіп келеді. GPS координаттарын бағалаудың дербестігі мен дәлдігі, трекерлерге қызмет көрсету және пайдалану ыңғайлылығы табыншылар мен шаруа қожалықтарының иелері үшін өте маңызды болып табылады. Қазіргі уақытта жылқыларды бақылау үшін GPS трекерлерінде өте аз зерттеулер ұсынылған, өндірушілердің тікелей табыншылардың талаптарына жеткілікті көңіл бөлінбейді. Бұл мақалада Қазақстан Республикасының жылқы шаруашылықтарындағы заманауи GPS–трекерлерге салыстырмалы бағалау жүргізілді, табыншыларға сауалнама жүргізілді және талаптар нақтыланды.

**Материалдар мен әдістер**

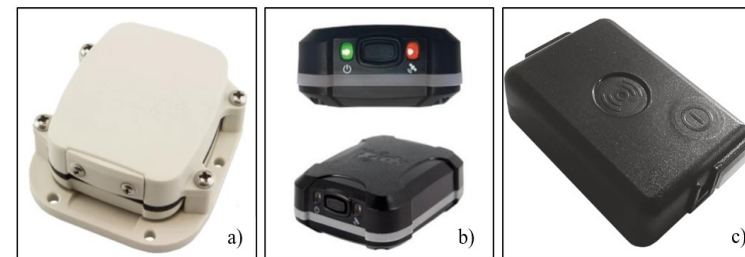
GPS–трекерлерді сынау Қазақстан Республикасының бес облысында: Солтүстік Қазақстан, Ақмола, Шығыс Қазақстан, Павлодар және Жамбыл облыстарында жүргізілді. Осы экспериментке жеті ШҚ жұмылдырылды, географиялық жағынан олар ҚР–ның Солтүстік, Орта, Шығыс және оңтүстік бөліктерінде орналасқан, әртүрлі климаттық ерекшеліктері мен жер бедерінің ландшафты бар (сурет 1). Әр ШҚ 500 гектардан 40000 гектарға дейін жайылымға ие. Әр ШҚ–да жылқылардың саны 120–дан 2000–ға дейін.



Сурет 1 – ШҚ географиясы: СК СХОС, Агрофирма Ақжар Ондирис, Саумал, Науан, Агросерпін, Ертай және Бектөбе

Қазақстанның солтүстік бөлігіндегі температура 2021–2022 жылдары  $-27 - 36^{\circ}\text{C}$ , оңтүстік бөлігінде  $-1 - 37^{\circ}\text{C}$  құрады. Климаттық деректерге сүйене отырып,  $-40 - 60^{\circ}\text{C}$  температура аралығында жұмыс істейтін GPS трекерлерінің бес моделі таңдалды:

- 1 Globalstar Smartone C спутниктік трекері, 17 дана (сурет 2a);
- 2 SPOT Trace спутниктік GPS трекері, 17 дана (сурет 2b);
- 3 Neomatica ADM50 GPS трекері, 15 дана (сурет 2c);
- 4 Lora GPS трекері, 20 дана (сурет 4);
- 5 TT15 және T5 mini Garmin Alpha 100 VHF GPS трекері, 17 дана (сурет 5).



Сурет 2 – Спутниктік және GSM GPS трекерлері:  
a) Globalstar SmartOne C; b) SPOT Trace; c) Neomatica ADM50

Спутниктік трекерлердің алғашқы екі моделі AAA типті батареяларымен жұмыс істейді, сәйкесінше жоғарыда аталған температура диапазонында жұмыс істеу үшін Energizer Ultimate Lithium AAA (FR03) батареялары таңдалды. Компанияның айтуынша бұл литий батареялары +40–60 °C диапазонында жұмыс жасайды. Қалған GPS трекерлері бөлек +5 вольт тұрақты ток көзімен қайта зарядталады. Тізімдегі төртінші модель ресивермен (қабылдағышпен) және жайылымды толық жабу үшін таратылған қайталағыштар (қабылдап–таратқыштар) желісімен бірге жұмыс жасайды.

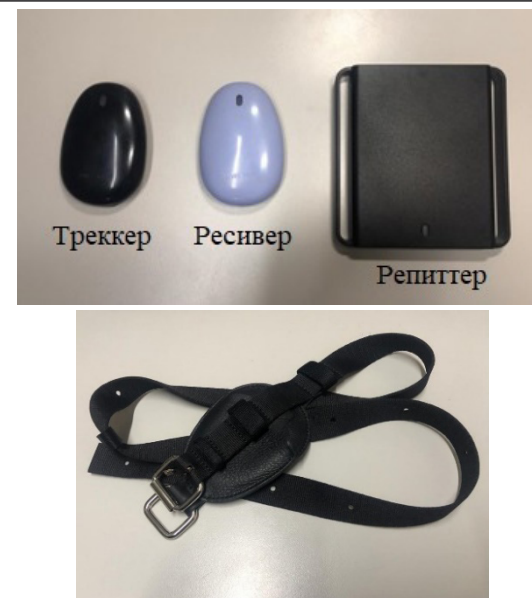
Мұнда сымсыз LoRa GPS деректер технологиясы қолданылады, байланыс қашықтығы 10 км. Әйгілі Garmin сатушысының соңғы GPS трекері қашықтан басқару пультімен жұмыс істейді, онда дисплейде жануар мен табыншының (бақылаушының) координаттары көрсетіледі. Мұнда диапазонның VHF жиілігі қолданылады, қашықтық рельефке байланысты, 2 км–ден 50 км–ге дейін.

Спутниктік және GSM трекерлерімен бірге өрт шлангісінен жасалған қарғыбау сынақтан өтті. GPS трекер қарғыбаудың ішіне бекітілген (сурет 3).



Сурет 3 – Қарғыбаудың материалы (сол жақ) және жылқыға тағылған қарғыбау (оң жақ)

LoRa GPS трекері Samsung компаниясының қарғыбауымен жабдықталған. Қайталағыш далада биіктігі 4 метрден асатын діңгекке қойылып, күн батареясынан қуат алады.



Сурет 4 – LoRa трекері, қабылдағышы және қайталағышы (сол жақта), трекерге арналған қарғыбау (оң жақта)

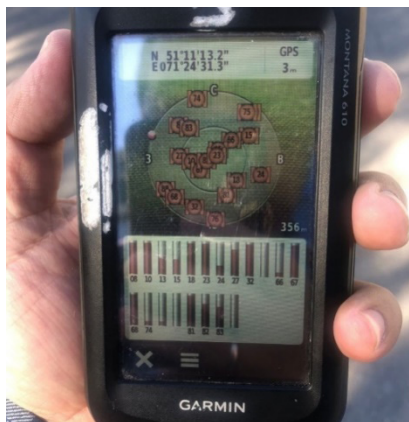
Garmin ALPHA 100 VHF GPS трекерінің де өз қарғыбауы бар (сурет 5).



Сурет 5 – Garmin Alpha 100 VHF GPS трекері TT15c қашықтан басқару пультімен және T5mini

Тәжірибелер кезінде қуат пен автономияны (жұмыс ұзақтығын) есептеу үшін тоқты өлшеу құралдары қолданылды. GPS координаттарының дәлдігін бағалау барлық 5 түрлі трекер орнатылған бақылау координаттарымен

анықталды. Бақылау координаттарының көрсеткіштері GarminMontana 610 навигаторынан алынды, GPS деректерінен бір сағат ішінде орташа координат есептелді, онда  $\pm 3$  метр дәлдікке қол жеткізілді (сурет 6), біз мұны рұқсат етілген қателік деп санаймыз [1].



Сурет 6 – Garmin Montana 610 навигаторы

Спутниктік және GSM GPS трекерлері 2021 жылдың желтоқсан айының басында барлық жеті жылқы шаруашылығында орнатылды, табыннан бір бие және бір айғыр буыннан ерекшеленді, оларға бірдей трекерлер орнатылды. GPS деректерін жіберу аралығы 1 сағаттан 8 сағатқа дейін қойылды, мұндай интервал кездейсоқ тандалмады, бұл батареяларды жиі ауыстырып, құрылғыларды зарядтамау үшін оңтайлы, сигнал жіберудің жоғары жиілігінде уақыт қысқарады. Қалған Loga және Garmin Alpha 100 VHF GPS трекерлері 2022 жылдың көктемінде 5 ШҚ–да орнатылды, уақыт аралығы 2 минуттан 1 сағатқа дейін.

**Координаттардың дәлдігін бағалау.** GPS координаттары бойынша қателік, әдетте, статикалық режимде (объект тыныштықта болғанда) немесе динамикалық режимде (объект қозғалыста болған кезде) анықталады. Статикалық режимде қателік аз болады, өйткені тыныштық кезінде сіз көптеген мәліметтер жинай аласыз және статистиканы қолдана отырып, орташа және орташа квадраттық ауытқуды анықтай аласыз. Жоғары дәлдікке сыртқы факторлар да әсер етеді, өйткені GPS сигналдары шамадан тыс шағылысуы, ионосфераның және бұлттардың төменгі қабаттарының әсеріне ұшырауы мүмкін немесе кейбір кедергілер GPS деректерін бұрмалауы мүмкін [2].

CEp көрсеткіші – бұл шеңбердің шартты радиусы онда көлденең жазықтық, ендік және бойлық бойынша координаталық орындардың  $n\%$

түседі. Ол ағылшын тілінде – CircularError деп аталады, GPS өлшемдерінің дәлдігін бағалаудың ең оңай жолы болып саналады (сурет 7). Мұнда, мысалы, CEP95 = 6 м, онда ол келесі нұсқалардың бірі болып оқылады:

Өлшеулердің 95 %–ы радиусы 6 м шеңбер ішінде орналасқан;

Жаңа өлшем радиусы 6 м шеңбер ішінде болу ықтималдығы 95 %;

Жасалған өлшемдердің 95%–ы орташа статистикаға қарағанда 6 м–ге дәлірек.

GPS трекерлерінің басқа дәлдік көрсеткіштері LEP (Linear Error Probable) және SEP (Spherical Error Probable) сызықтық және сфералық ықтималдық көрсеткіші болып табылады. Осылайша, статикалық режимде барлық трекерлер үшін GPS өлшемдерінің көп саны түсетін радиус есептеледі, 98 % ықтималдығын алайық. Кем дегенде 100 өлшем жеткілікті болады, мысалы, GPS деректер аралығы 1 сағат болатын трекерлер үшін 100 сағат, аралығы 2 минут трекерге 3 сағат 20 минутты құрайды. Деректер неғұрлым көп болса, орташа компонентті есептеу статистикасы дәлірек болады. Орташа компонентті есептегеннен кейін модульді есептеу жүргізіледі, яғни қашықтық  $R_i$  орташа  $M(x,y)$  компоненттен өлшенген  $GPSM(x_i,y_i)$  мәндеріне дейін. Көптеген қашықтықтардың кесіндісінен өсу массиві салынады және осы қашықтықтардың соңғы 2 % массиві жойылады, соңғы максималды қашықтық CEP98 сериясын көрсетеді (сурет 7).

Орташа компонентті есептеу  $x$  және  $y$  үшін бөлек жүргізіледі:

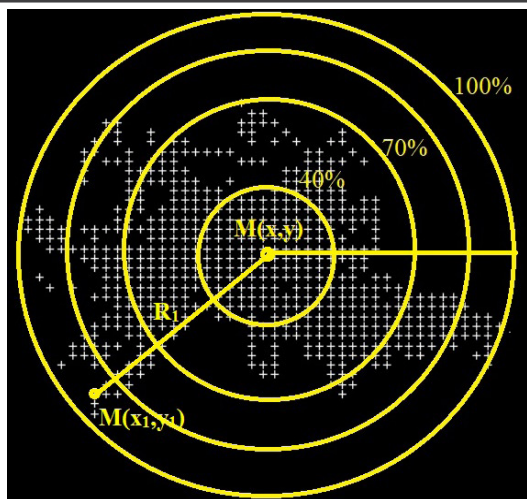
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}; \bar{y} = \frac{\sum y_i}{N}$$

Демек,  $M(\bar{x}, \bar{y})$  – GPS өлшеу мәндерінің бұлтының орталық координаты.

Орталық координатадан кез келген  $i$ –ші координаталық нүктеге дейінгі қашықтық келесі формула бойынша есептеледі [3, 4]:

$$R_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}$$





Сурет 7 – GPS өлшеу мәндерінің бұлтты

**Автономияны бағалау.** GPS деректерін жиі жіберу батареялардың немесе қайта зарядталатын трекердің батареясының тез таусылуына әкеледі. Деректерді жіберу кезінде құрылғының ұйқы режимінде немесе белсенді емес күйіне қарағанда энергияның көп бөлігі жұмсалады. Сондықтан, құрылғы көп уақыт белсенді болмаса немесе беріліс қысқа уақыт аралығында болған кезде, бұл аккумулятордың немесе батареяның ұзақ өмір сүруіне қамтамасыз етеді.

Аккумуляторлардың немесе батареялардың алуан түрлілігі стандартты өлшемдермен, кернеулермен және олар сақтай алатын энергия мөлшерімен ерекшеленеді. Олар сақтай алатын энергия мөлшері бұл маңызды параметр, оны көбінесе батарея сыйымдылығы деп атайды, миллиампер-сағатпен (мАс) өлшенеді. Аккумулятордың немесе батареяның жалпы өлшемдері оның сыйымдылығына байланысты, сыйымдылығы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым олар үлкен болады. Батареяның немесе аккумулятордың қызмет ету мерзімі  $T$  (сағат), сондай-ақ оның сыйымдылығымен корреляция жасалады (мАс), GPS трекер тұтынатын орташа ток  $A$  (мА) мөлшеріне тәуелді және келесі формула бойынша есептеледі [5]:

$$T = \frac{C}{A}$$

GPS трекерлерінде әдетте үш жұмыс режимі бар, ол төменде графикте көрсетілген, көп уақытты терең ұйқы режимі – DeepSleepMode алады, одан кейінгі GPS датчиктерін оқу – ActiveMode және үшінші соңғы, энергияны көп

қажет ететін, деректерді жіберу режимі – SendMode, бұл режимде ағымдағы GPS орналасу деректері жіберіледі (сурет 8). Деректерді жіберу VHF, ұялы, LoRa және спутниктік байланыс арналары арқылы жүзеге асырылады [6, 7].



Сурет 8 – GPS трекерінің үш режимдегі жұмыс уақытының иллюстрациясы

GPS трекерінің жалпы батареясының қызмет ету мерзімін есептеу үшін, ең бастысы, аккумулятордың немесе батареяның жалпы сыйымдылығын білу керек, бұл деректер әдетте стандартты, анықтамалық болып табылады. Екіншіден, әр режимдегі тұтыну тоғын және жоғарыда аталған режимдердің әрқайсысына бір циклде бөлінген уақытты білу қажет. Цикл бұл GPS деректерін жіберу жиілігі, бір минуттан, бір сағаттан жарты күнге дейін. Мұны есептеудің жалпы формуласы циклі үшін қуат тұтыну (мАс) келесідей есептеледі:

$$P_{cycle} = I_{dsm}t_{dsm} + I_{am}t_{am} + I_{sm}t_{sm}$$

мұнда, келесі режимдердегі тұтыну тоғы (мА):  $I_{dsm}$  – терең ұйқы режимі;  $I_{am}$  – белсенді режим;  $I_{sm}$  – деректерді жіберу режимі. Тиісінше,  $t_{dsm}$ ,  $t_{am}$  және  $t_{sm}$  режимдердің уақыты (секундпен).

GPS трекердің батареясын зарядтамай және батареяны ауыстырмай, гипотетикалық түрде  $T$  (сағат) жұмыс істей алады, ол келесі формула бойынша есептеледі [8, 9]:

$$T = \frac{C}{P_{cycle}}$$

**Нәтижелер мен талқылау**

Зерттеу нәтижелері GPS өлшеудің есептелген мәндерінің 98% ықтималдықпен дәлдігін және дербестігін көрсетті, яғни трекерлер жұмыс істей алатын орташа уақыт. Эксперименттің жалпы уақыты GPS сигналының жиілігіне байланысты болды, GPS өлшеулерінің саны жүзден асты. Негізгі нәтижелер 1–кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – GPS трекерлерінің координаталық дәлдігі мен дербестігін салыстырмалы бағалау

№	Трекер атауы	GPS өлшемдерінің абсолютті қателігі (метр)	GPS деректерін жіберу жиілігі (сағат)	Есептелген дербестілік (күн)	Нақты дербестілік (күн)
1	Smart OneC	±10	8	198	100 ÷ 180
2	SPOT Trace	±8	1	87	60 ÷ 70
3	Neomatica ADM50	±5	1	110	88 ÷ 98
4	Lora LivesTalk	±7	1	90	60 ÷ 70
5	Garmin Alpha 100 VHF TT15 және T5 mini	±1	0.0333 (2 мин.)	2,2	1,8 ÷ 2

**Қаржыландыру туралы ақпарат**

Зерттеу ҚР АШМ BR10865103 «АӨК субъектілерінің өзекті өндірістік міндеттеріне цифрландыруды енгізудің әр саласы бойынша әр түрлі кемінде 3 цифрлық шешімдерді қолдана отырып, ғылыми негізделген Смарт-фермаларды (табындық жылқы шаруашылығы, етті мал шаруашылығы) әзірлеу және құру және оған фермерлік және шаруа қожалықтарының қызметкерлерін оқытуға және білім алушыларға цифрлық білімді беруге арналған анықтамалық база қалыптастыру» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде жүзеге асырылды.

**Қорытынды**

Дәлдікті салыстырмалы бағалау көрсеткендей, ең жақсы дәлдік координатаны анықтауға Garmin компаниясының трекерлері қол жеткізеді, себебі компания ұзақ уақыт бойы навигациялық құрылғылар нарығында, олар шығаратын навигаторлар көбінесе GPS бойынша координаттарды анықтау дәлдігі ±3 метр. Дегенмен, Garmin трекерлері GPS деректерін жіберудің үлкен жиілігіне байланысты әлі де төмен дербестілікке ие екенін атап өткен жөн. Мұндай трекерлер егер жылқылар табыны әр 1–2 күн сайын құрылғыларды қайта зарядтау үшін қайта оралатын болса ғана ыңғайлы болуы мүмкін. Олар сондай-ақ ШҚ иелері үшін табыншыларды бақылап, оларды тез табу қажет болса, балама құрылғы бола алады. Табыншылар

трекерді еркін жайылатын айғырларға немесе биелерге қарағанда, өздерінің жылқыларына тақса, трекерлердің жоғалып қалу ықтималдылығы төмен болады. Neomatica трекерлері басқа трекерлерге қарағанда, баға жағынан қол жетімді және пайдаланылуы оңай, оларды кем дегенде 2G ұялы байланысы жақсы қамтылған, қолайлы GPS дәлдігі бар жерлерде пайдалануға болады. Lora трекерлері революциялық технология болғанымен, GPS дәлдігі мен дербестігі бойынша орташа санатта болды, себебі қамту аймағын кеңейту үшін арнайы Lora қабылдау және тарату құрылғыларының желісін құру қажет. Бұл трекерлерді пайдалану тәжірибесі қарапайым пайдаланушы үшін MaTalk (қазақстандық нұсқа) қосымшасында бағдарлаудың қиын екенін көрсетті, өйткені онда жердің спутниктік ғарыштық суреттерінің орнына векторлық ГАЗ карталары пайдаланылды. Жалпы, егер бұл бағдарлама бойынша бағдарлау мәселесі шешілсе, онда ол шағын аумақта жылқыларын бағып жүрген ШҚ үшін трекерлер арасында өз орнына лайық болуы мүмкін. Келесі Smart OneC және SPOT Trace спутниктік трекерлеріне табыншылар мен ШҚ иелері арасында ерекше назар аударылды, олар әлемнің кез келген нүктесінен GPS деректерін тікелей спутниктерге жібере алады, сәйкесінше спутниктік байланысты қамтуды алаңдамауға болады. Алайда, Украина мен Ресей арасындағы соңғы оқиғалар спутниктердің жұмысына кері әсер етті, өйткені халықаралық санкцияларға байланысты Global Star Ресей Федерациясының аумағына және онымен шектесетін елдерге қызмет көрсетуді (спутниктік байланыспен қамтуды) тоқтатты. Осы себепті Қазақстанда спутниктік трекерлердің жұмысында 2022 жылдың наурыз–қыркүйек айлары аралығында ақаулар байқалды. Осы мәселелерге қарамастан, бұл трекерлер пайдаланушылар арасында көбірек мақұлдау алды, әсіресе бұл Smart OneC трекері. Smart OneC трекерінің артықшылығы, 6 айдан астам қалыпты температура жағдайында жоғары дербестілікті қамтамасыз етті. 1–кестеде көрсетілгендей, нақты дербестілік елдің климаттық белдеулеріне байланысты болды, мысалы, Қазақстанның оңтүстік бөлігінде қыста трекерлер солтүстікке қарағанда бір зарядта ұзақ жұмыс жасады.

**ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **Hampson, B. A., Morton, J. M., Mills, P. C., Trotter, M. G., Lamb, D. W. and Pollitt, C. C.** «Monitoring distances travelled by horses using GPS tracking collars» *Australian Veterinary Journal*, vol. 88, no. 5, P. 176–181, May 2010, doi: 10.1111/j.1751-0813.2010.00564.x.

2 **Reinau, K. H., Harder, H., Overgard, C. H., Rasouli, S. and Timmermans, H.** *Horses for Courses: Designing a GPS Tracking Data Collection*

(Mobile Technologies for Activity–Travel Data Collection and Analysis). 2014, P. 36–52.

3 **Skeivalas, J., Parseliunas, E., Putrimas, R. and Slikas, D.** «An influence of the correlation due tracking the same satellite on the accuracy of the GPS time dissemination», Measurement, vol. 121, P. 62–65, Jun 2018, doi: 10.1016/j.measurement.2018.02.048.

4 **Lin, J. Y., Yang, B. K., Do, T. A. and Chen, H. C.** «The Accuracy Enhancement of GPS Track in Google Map» 2013 Eighth International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2013), P. 524–527, 2013, doi: 10.1109/bwcca.2013.90.

5 **Ge, X., Gu, R. N., Lang, Y. F. and Ding, Y. Y.** «Design of Handheld Positioning Tracker Based on GPS/GSM», 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), P. 868–871, 2017.

6 **Hadwen, T., Smallbon, V. Zhang, Q. and D'Souza, M.** «Energy efficient LoRa GPS tracker for dementia patients», in Proceedings of the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2017, P. 771–774, Republic of Korea, July 2017.

7 **Sardon, E. and Zarraoa, N.** «Estimation of total electron content using GPS data: How stable are the differential satellite and receiver instrumental biases?», Radio Science, vol. 32, no. 5, P. 1899–1910, Sep–Oct 1997, doi: 10.1029/97rs01457.

8 **Kirchev, A.** «Battery Management and Battery Diagnostics», Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, pp. 411–435, 2015, doi: 10.1016/b978-0-444-62616-5.00020-6.

9 **Rahimi-Eichi, H. and Chow, M. Y.** «Batteries», World Scientific Handbook of Energy, vol. 3, P. 405–426, 2013.

10 **Ghosh, S. K., Rashid, M. M., Tuba, N. S., Neerjhor, M. M. A., Kader, A., Peata, T. N. and Pritom Biswas** Development of anti-theft offline GPS tracker. ITEGAM – Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM–JETIA), 2020, doi:10.5935/2447–0228.20200023.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

*A. A. Akhmadia<sup>1</sup>, A. B. Mirmanov<sup>1</sup>, H. K. Nabiev<sup>1</sup>,*

*\*T. G. Serikov<sup>1</sup>, G. Zh. Assainov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Астана

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

## ОЦЕНКА АВТОНОМНОСТИ И ТОЧНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ

## GPS–ТРЕКЕРОВ ДЛЯ ТАБУННОГО КОНЕВОДСТВА

*Работа табунищика может быть облегчена с применением современных GPS–трекеров. Рынок предлагает большое разнообразие GPS–трекеров по слежению за животными, трекеры совершенствуются, все больше каналов передачи GPS–данных задействуются, начиная от мобильной и кончая спутниковой связи. Автономность и точность оценки GPS–координат, обслуживание и удобство использования трекеров становятся крайне важными для табунищиков и владельцев коневых хозяйств. Настоящее время, крайне мало исследований представлено по GPS–трекерам для слежения за лошадьми, не уделяется достаточное внимание производителям на требования непосредственно табунищиков. В данной статье была проведена сравнительная оценка современных GPS–трекеров в конных хозяйствах Республики Казахстан, также вычислили основные характеристики, такие как погрешность измерения GPS координат и автономности. Впервые, были оценены трекеры работающие по разному принципу передачи данных GPS по каналам: GSM, LoRa, УКВ, спутниковой связи. Во время экспериментов были использованы приборы измерения тока для расчета потребляемой мощности и автономности. Оценка точности GPS–координат определялась по контрольным координатам, где были установлены все 5 разных трекеров. Результаты исследования представляют с собой вычисленные значения точности GPS измерений с 98% вероятностью, и автономностью. Испытание трекеров проводилось в полевых условиях в реальных коневых хозяйствах.*

*Ключевые слова: трекеры, GPS, автономность, точность, табунное коневодство.*

*\*A. A. Akhmadia<sup>1</sup>, A. B. Mirmanov<sup>1</sup>, N. K. Nabiyev<sup>1</sup>,*

*T. G. Serikov<sup>1</sup>, G. Zh. Assainov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Astana

Material received on 15.12.22

## ASSESSMENT OF THE AUTONOMY AND ACCURACY OF MODERN GPS TRACKERS FOR HERD HORSE BREEDING

*The work of a herder can be facilitated with the use of modern GPS trackers. The market offers a wide variety of GPS trackers for tracking*

animals, trackers are being improved, more and more GPS data transmission channels are being used, ranging from mobile to satellite communications. The autonomy and accuracy of GPS coordinates estimation, maintenance and usability of trackers are becoming extremely important for herders and owners of horse farms. Currently, very few studies are presented on GPS trackers for tracking horses, not enough attention is paid by manufacturers to the requirements of herders directly. In this article, a comparative assessment of modern GPS trackers in equestrian farms of the Republic of Kazakhstan was carried out, and the main characteristics, such as the measurement error of GPS coordinates and autonomy, were also calculated. For the first time, trackers working on different principles of GPS data transmission via channels: GSM, LoRa, VHF, satellite communications were evaluated. During the experiments, current measuring devices were used to calculate power consumption and autonomy. The accuracy of GPS coordinates was estimated by reference coordinates, where all 5 different trackers were installed. The results of the study represent the calculated values of the accuracy of GPS measurements with 98 % probability, and autonomy. The trackers were tested in the field in real horse farms.

*Keywords:* trackers, GPS, autonomy, accuracy, herd horse breeding.

**\*A. V. Atyaksheva<sup>1</sup>, N. V. Ryvkina<sup>2</sup>, I. T. Matin<sup>3</sup>,  
A. D. Atyaksheva<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University;

<sup>2,3</sup> L. N. Gumilyov Eurasian National University;

<sup>4</sup>International green technologies and investment projects center;  
Republic of Kazakhstan, Astana,

## **ON THE DEPENDENCE OF THE TEMPERATURE INTENSITY OF HEAT TRANSFER IN MULTILAYER ENCLOSURE STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN**

*The article presents studies on the intensity of the influence of temperature on the heat transfer inside the cement sandwich panel, taking into account the intensity of the influence of temperatures in the ranges of positive and negative values when determining the temperature distribution curve inside Protective construction for climatic conditions in Northern Kazakhstan. Three-layer cement sandwich wall panels, which contain basalt wool and foam polystyrene materials as insulation layer, are considered. The research was carried out using the computer program «Comsol Multiphysics» using the method of finite elements. The study of temperature change kinetics according to the thickness of the structures of two types of cement sandwich panels with the aim of revealing sharp temperature changes affecting the processes of material destruction. It has been shown that the temperature influence during the transmission of the heat flow under both decreasing and increasing temperature conditions flows under softer conditions during the passage of the heat flow through a structure comprising basalt wool as an insulating agent.*

*Keywords:* temperature, heat transfer, intensity of action, enclosing structure, insulation.

### **Introduction**

The tendency of rapid construction under conditions of shortening of its term requires conditions of use of lightweight constructions containing both load-

bearing layers and layers of thermal insulation. In this development direction, multilayer fencing structures of full factory readiness are undoubtedly the most rational and acceptable solution for introduction into the practice of industrial and civil construction. The internal layer of such structures is usually effective thermal insulation materials, the performance of which depends on many factors, including the temperature factor.

### Materials and methods

The thermal insulation capacity of the material is traditionally determined by temperature, humidity and material structure. This dependency is functionally represented by:

$$\lambda = f(T, W, P, Por, D, Struct, \dots) \quad (1)$$

However, conditions of intensity of the temperature drop or rise in the presented dependency are not present. At the same time, the temperature intensity conditions determine the conditions of the heat transfer process in the structure and the operational reliability of its operation under different modes of operation. Methods of numerical simulation of heat transfer are the best solution for optimization of heat insulation in the construction layer Northern Kazakhstan is located in a harsh continental climate, with [1] the temperature of the coldest five-day period in average of 0.98, the region has an average temperature of  $-37^{\circ}\text{C}$  and the absolute maximum temperature during the warm period of the year can reach  $40^{\circ}\text{C}$ .

To date, increasing popularity as multilayer lightweight enclosure constructions receive sandwich panels due to the high properties of heat insulation, fire resistance, moisture resistance, ease and ability to create designs of various configurations. In the studies [2 – 5], it has been proved that the use of sandwich-panels meets all requirements for the development of construction production in the direction of creating energy-efficient and economical construction.

However, sandwich panels have a number of significant operational disadvantages that are directly related to the effect of temperature drops that affect the heat transfer disrupted by the formation of intermediate bridges of cold, due to sandwich bunching - construction and formation of destructive cracks and joints [6 – 10].

The materials used in these studies are those used as layers in cement sandwich panels. The temperature exposure study took into account the thermal characteristics presented in Table 1.

Table 1 – Characteristics of sandwich layers – panels

Material	Heat transfer [W/m K]	Heat capacity [kJ/kg K]	Density [kg /m <sup>3</sup> ]
Continuous basalt fibre	0,04	1,04	120 – 140
Foam polystyrene	0,042	1,28	0,25
Concrete 150 (two layers; internal and external)	1,49	0,08	2100
Mortar bed (two layers; internal and external)	0,93	0,075	1800

According to the climatic conditions of North Kazakhstan, the required heat transfer resistance is determined in accordance with [9] and should be conditional  $R_{o\ cond}$  not to be more than  $1\ \text{m}^2\ \text{K}/\text{W}$ . At the same time, according to [1] the average calculated indoor air temperature is  $t_{in} = 21^{\circ}\text{C}$ , the maximum air temperature during the warm period  $t_{ext} = 40^{\circ}\text{C}$  and the maximum temperature during the cold period  $t_{ext} = -37^{\circ}\text{C}$ .

Taking into account the influence of solar radiation factors, the heat transfer coefficient on the internal and external surface will be equal to  $\alpha_1 = 4.8\ \text{W}/\text{m}^2\ \text{K}$  and  $\alpha_2 = 25\ \text{W}/\text{m}^2\ \text{K}$ , respectively.

The studies used cement sandwich panels, which have an outer layer made of concrete 150. The compression resistance of such concrete is not more than 1.4 MPa.

The required heat transfer resistance for such a design is determined by:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + R_{sp} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2)$$

$R_{sp}$  - the thermal resistance of the sandwich panel, in which taking account the thermal resistance of all composite layers.

In the Northern Kazakhstan:

$$R = \frac{1}{4,8} + \frac{0,05}{1,49} + \frac{x}{0,08} + \frac{0,05}{1,49} + \frac{1}{4,8} = R_{o\ cond} = 1, \text{m}^2\ \text{K} / \text{W} \rightarrow x \geq 0,07$$

Thus, the heat transfer resistance of the three-layer panel will meet the norm at an inner layer thickness of at least 0.11 m. At the same time, the most optimal sandwich panel size will be: 1200 x 6000 x 200.

### Results and discussions

The following tasks can be accomplished by assessing the feasibility of using such panels with a given thermal resistance coefficient:

to compare the different types of insulation used in cement sandwich panels;  
 to analyze the possibilities of using such cement sandwich panels in various enclosing structures (wall panel, roof ceiling, basement ceiling, etc.);  
 to analyze the possibility of using cement sandwich panels as thermally insulated roof structures.

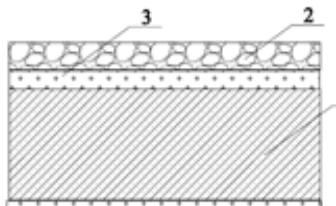
Research on the proposed analysis was carried out with the help of the computer program «Comsol Multiphysics», Module «Heat transfer», when determining the optimal thickness of the layers in accordance with the technical characteristics offered for the layers of materials in the cement sandwich panel, used as a wall.

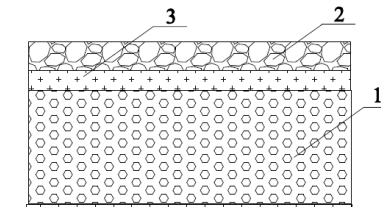
The simulation was carried out using the heat exchange equation in a multilayer concrete structure in the environment «Heat transfer in porous media» taking into account the physical model «Surface to radiation» in the climatic conditions of Northern Kazakhstan, taking into account the standard temperatures on the inside and outside surfaces of the sandwich structure:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \rho \cdot c \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (3)$$

The experiment involved decisions on the structure of the cement sandwich panels, KS – 1 and KS – 2 represented in table 2.

Table 2– Solutions for the structure of cement sandwiches – panels KS – 1 and KS – 2

Cement structure sandwich panels	Details of cement structure sandwich panels
<p>1. Wall panel KS – 1</p> 	<p>1) Continuous basalt fibre (<i>Component 1</i>) thickness 0,07 m;                      2) Concrete 150 (<i>Component 2</i>) thickness 0,05 m;                      3) Mortar bed (<i>Component 3</i>) thickness 0,02 m.</p>

2. Wall panel KS – 2	
	<p>1) Foam polystyrene (<i>Component 1</i>) thickness 0,07 м;                      2) Concrete 150 (<i>Component 2</i>) thickness 0,03 м;                      3) Mortar bed (<i>Component 3</i>) thickness 0,02 м.</p>

The results of the studies are presented in figures 1 and 2

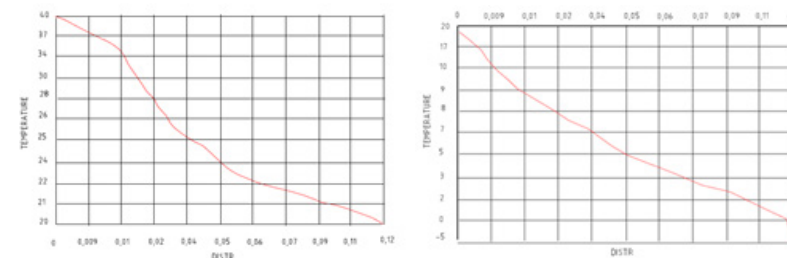


Figure 1 – Temperature kinetics inside KS-1 (in the left) and KS-2 (in the right) in the warm season

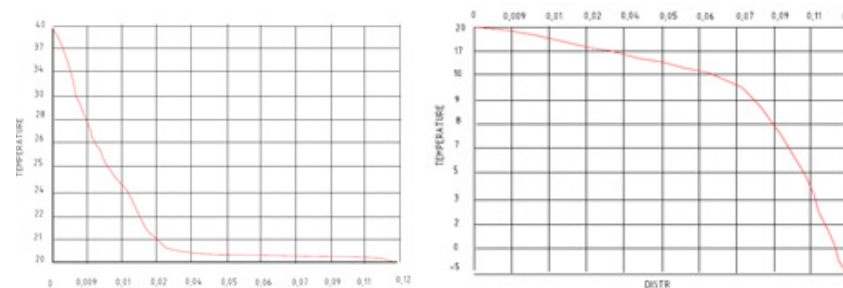


Figure 1 – Temperature kinetics inside KS-1 (in the left) and KS-2 (in the right) in the cold season

**Conclusions**

Studies have shown positive results of the using represented structures in the climatic conditions of northern Kazakhstan, taking into account the intensity of the temperature influence both in the cold and in the warm period of the year.

However, the use of cement sandwich panels with insulation continuous basalt fibre will be more acceptable because the temperature curve in the wall thickness is less inclined, which means less temperature abrupt due to the absence of temperature changes and, according to the development of temperature gradients that cause the emergence of gradients of pressure and subsequently micro and macro degradation of materials.

#### REFERENCES

- 1 Строительные правила Республики Казахстан 2.04 – 01 – 2017. [Text] // Строительная климатология. 20 2017 – 01 – 20.
- 2 Code of rules of the Republic of Kazakhstan 2.04 - 01 - 2017. Building climatology. [Text] // State regulations in the field architecture, urban planning and construction. –2017 – 01 – 20.
- 3 **Ding, K., Wang, G., Yin, W.** Application of Composite Sandwich Panels in Construction Engineering. [Text] // Applied Mechanics and Materials. – 2013. № 293. P. 1172 – 1176.
- 4 **Tang, X. Chen, X. Dong, Y. Wei, X., Yang, Q.** The Development of New Sandwich Thermal Insulation Composite Wall Based on the Housing Industrialization. [Text] // Applied Mechanics and Materials. – 2013 № 291. P. 997 – 1000.
- 5 **Omarov, Zh., Zhukenova, G., Bulyga, L., Beisembaev, M.** Prospects for the use of sandwich panels in the construction industry of Kazakhstan. [Text] // E3S Web XXIV International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment»– 2021. ID number 01020.
- 6 **Quanjin, Ma., Rejab, M., Siregar, JP, Guan, Zh.** A review of the recent trends on core structures and impact response of sandwich panels. [Text] // Journal of Composite Materials. – 2021. № 55 (18). P. 2513-2555.
- 7 **Shibaeva, G., Ibe, E., Portnyagin, D. Afanasyeva, E.** Thermal protection of buildings from sandwich panels for Southern Siberia conditions. [Text] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 597. – 2019 ID number 012036.
- 8 **Wei, Ye., Jian, C., Huang, Y., Chengqiang, Z., Zhang, X.** Experimental Assessment of Thermal Performance and Bridging Effects of Low Cost Sandwich Panels under a High-Temperature. [Text] // Impinging Jet Materials. – 2020. 13 (16). P. 3620.
- 9 **Li, Y., Xie, G., Boetcher, S., Yan, H.** Heat transfer enhancement of X-lattice-cored sandwich panels by introducing pin fins, dimples or protrusions. [Text] // Heat Mass Transfer. – 2019. № 141. P. 627–642.

- 10 **Samarin, O. D.** Temperature in linear elements of enclosing structures. [Text] // Magazine of Civil Engineering. – 2017. No. 2 (70). – P.3.
- 11 **Kupriyanov, V.** Dew point temperature as overwetting indicator of enclosing structures. [Text] // E3S Web Conference – 2021. No. 274, ID number 07002.

#### REFERENCES

- 1 Svod pravil Respubliki Kazakhstan 2.04 – 01 – 2017. Stroitel'naya klimatologiya. [Code of rules of the Republic of Kazakhstan 2.04 – 01 – 2017. Building climatology] [Text] //Gosudarstvennye normativy v oblasti arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva. – 2017 – 01 – 20.
- 2 **Ding, K., Wang, G., Yin, W.** Application of Composite Sandwich Panels in Construction Engineering. [Text] // Applied Mechanics and Materials. – 2013. № 293. P. 1172 – 1176.
- 3 **Tang, X. Chen, X. Dong, Y. Wei, X., Yang, Q.** The Development of New Sandwich Thermal Insulation Composite Wall Based on the Housing Industrialization. [Text] // Applied Mechanics and Materials. – 2013. № 291. pp. 997 – 1000.
- 4 **Omarov, Zh., Zhukenova, G., Bulyga, L., Beisembaev, M.** Prospects for the use of sandwich panels in the construction industry of Kazakhstan. [Text] // E3S Web XXIV International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment»– 2021. ID number 01020.
- 5 **Quanjin, Ma., Rejab, M., Siregar, JP, Guan, Zh.** A review of the recent trends on core structures and impact response of sandwich panels. [Text] // Journal of Composite Materials. – 2021. № 55 (18). pp. 2513–2555.
- 6 **Shibaeva, G., Ibe, E., Portnyagin, D. Afanasyeva, E.** Thermal protection of buildings from sandwich panels for Southern Siberia conditions. [Text] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 597. – 2019 ID number 012036.
- 7 **Wei, Ye., Jian, C., Huang, Y., Chengqiang, Z., Zhang, X.** Experimental Assessment of Thermal Performance and Bridging Effects of Low Cost Sandwich Panels under a High-Temperature. [Text] // Impinging Jet Materials. – 2020. 13 (16). P. 3620.
- 8 **Li, Y., Xie, G., Boetcher, S., Yan, H.** Heat transfer enhancement of X-lattice-cored sandwich panels by introducing pin fins, dimples or protrusions. [Text] // Heat Mass Transfer. – 2019. № 141. P. 627–642.
- 9 **Samarin, O. D.** Temperature in linear elements of enclosing structures. [Text] // Magazine of Civil Engineering. – 2017. No. 2 (70). – P.3.
- 10 **Kupriyanov, V.** Dew point temperature as overwetting indicator of enclosing structures. [Text] // E3S Web Conference – 2021. No. 274, ID number 07002.

\*А. В. Атякшева<sup>1</sup>, Н. В. Рывкина<sup>2</sup>, И. Т. Матин<sup>3</sup>, А. Д. Атякшева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті;

<sup>2,3</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті;

<sup>4</sup>Халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар орталығы, Қазақстан Республикасы, Астана қ.,  
Материал баспаға 15.12.22 түсті.

### СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЛАРЫНДА КӨП ҚАБАТТЫ ҚОРШАУ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНДА ЖЫЛУ БЕРУГЕ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ӘСЕР ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫНЫҢ ТӘУЕЛДІЛІГІ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕГЕ

Мақалада Солтүстік Қазақстанның климаттық жағдайлары үшін қоршау конструкциясының ішіндегі температураның таралу қисығын анықтау кезінде оң және теріс мәндер диапазонындағы температура әсерінің қарқындылығын ескере отырып, цемент сэндвич – панелінің ішіндегі жылу беруге температураның әсер ету қарқындылығы бойынша зерттеулер ұсынылған. Үш қабатты цемент қабырғалық сэндвич панельдері ұсынылады, олардың құрамында оқшаулау қабаты ретінде базальт жүні мен полистирол көбік материалдары бар. Зерттеулер соңғы элементтер әдісін қолдану кезінде «Comsol Multiphysics» компьютерлік бағдарламасының көмегімен жүргізілді. Материалдың бұзылу процестеріне әсер ететін температураның кенеттен өзгеруін анықтау мақсатында конструкциялары екі түрлі цемент сэндвич-панельдерінің қалыңдығына байланысты температураның өзгеру кинетикасын зерттеу. Температураның төмендеуі немесе жоғарылауы жағдайындағы жылу агынының берілуі кезінде температуралық әсер ету жылу агынының, жылу оқшаулағыш материал ретінде базальт жүні бар конструкция арқылы өткен кезде, жұмсақ жағдайларда жүретіндігі көрсетілген.

Кілтті сөздер: температура, жылу беру, әсер ету қарқындылығы, қоршау құрылымы, оқшаулау.

\*А. В. Атякшева<sup>1</sup>, Н. В. Рывкина<sup>2</sup>, И. Т. Матин<sup>3</sup>, А. Д. Атякшева<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина;

<sup>2,3</sup> Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева;

<sup>4</sup> Международный центр зеленых технологий и инвестиционных проектов;

Республика Казахстан, г. Астана,

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

### К ВОПРОСУ О ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

В статье представлены исследования по интенсивности воздействия температуры на теплопередачу внутри цементной сэндвич – панели с учетом интенсивности воздействия температур в диапазонах положительных и отрицательных значений при определении кривой распределения температуры внутри ограждающей конструкции для климатических условий Северного Казахстана. На рассмотрение предлагаются трехслойные цементные стеновые сэндвич – панели, содержащие в качестве слоя утеплителя материалы из базальтовой ваты и пенополистирола. Исследования проведены с помощью компьютерной программы «Comsol Multiphysics» при использовании метода конечных элементов. Исследование кинетики изменения температуры в зависимости от толщины конструкций двух видов цементных сэндвич-панелей с целью выявления резких перепадов температуры, влияющих на процессы разрушения материала. Показано, что температурное воздействие при передаче теплового потока в условиях как понижения, так и повышения температуры протекает в более мягких условиях при прохождении теплового потока через конструкцию, содержащую базальтовую вату в качестве теплоизоляционного материала.

Ключевые слова: температура, теплопередача, интенсивность воздействия, ограждающая конструкция, утеплитель.



[doi.org/10.48081/JLKZ3963](https://doi.org/10.48081/JLKZ3963)

**\*С. А. Глазырин<sup>1</sup>, Г. Б. Варламов<sup>2</sup>, А. В. Седнин<sup>3</sup>,  
Ж. А. Айдымбаева<sup>4</sup>, А. В. Нефтисов<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана,

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины (КПИ имени И.  
Сикорского) Украина, г. Киев,

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
Белорусия

<sup>4</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,  
Республика Казахстан, г. Алматы,

<sup>5</sup>Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ТЭС ДЛЯ ДЕСУЛЬФАРИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ**

*В статье представлен разработанный способ снижения объемов выбросов в атмосферу оксидов серы из дымовых газов тепловых электростанций путем утилизации сточных вод. Промышленными отходами угольных тепловых электростанций являются твердые отходы (шлак, зола), жидкие отходы (сточные воды водоподготовительных установок, конденсат очисток, а также продувочные воды котельных агрегатов) и газообразные продукты сгорания органического топлива. Разработаны технологии очистки газообразных продуктов сгорания путем использования жидких отходов электростанции.*

*В статье представлен разработанный способ снижения объемов выбросов в атмосферу оксидов серы из дымовых газов тепловых электростанций путем утилизации сточных вод. Утилизации подлежат высокоминерализованные сточные воды технологической установки очистки воды методом ионного обмена, включающей Н-катионитные и ОН-анионитные фильтры, а также сбросная продувочная вода барабанных котлов со значением рН, равным 11,5–12. Разработан проект технологического решения, включающий тепломеханическую схему, раздел оценки воздействия*

*на окружающую среду, схему автоматического управления процессом и схему электроснабжения устанавливаемого оборудования. В настоящее время проект проходит независимую экспертизу. Внедрение технологии десульфаризации дымовых газов путем утилизации сточных вод планируется на тепловой электростанции столицы Республики Казахстан в 2020 году.*

*Ключевые слова: оксиды серы, сточные воды, утилизация, тепловые электростанции, дымовые газы.*

### **Введение**

Загрязнение окружающей среды стало глобальной катастрофой для всех стран. Наиболее дешевое топливо для тепловых электростанций – уголь, и содержащаяся в нем сера образует в процессе сжигания оксиды серы, вызывающие губительные для всего живого кислотные дожди. Диоксид серы является одним из основных загрязнителей атмосферы в результате деятельности человека. Известно, что главным источником выбросов сернистых соединений является энергетика. Поэтому исследование эффективности использования сточных вод ТЭС для повышения степени очистки дымовых газов от оксидов серы является актуальным.

### **Материалы и методы исследования**

Был проведен анализ качественного и количественного состава сточных вод тепловой электростанции ТЭЦ-2 АО «Астана-Энергия», также анализ качественного и количественного состава дымовых газов котлов, анализ эффективности работы существующей схемы очистки дымовых газов, осуществлена разработка технологического решения по утилизации сточных вод с целью десульфаризации дымовых газов, разработка проекта по сокращению выбросов диоксида серы в уходящих газах энергетических котлов БКЗ-420-140 ТЭЦ-2.

Значимость данной работы заключается в том, что на основании разработанного технологического решения возможно снижение объемов выбросов оксидов серы путем утилизации собственных сточных вод на любой угольной электростанции без использования дополнительных дорогостоящих реагентов.

В статье представлен разработанный способ снижения объемов выбросов в атмосферу оксидов серы из дымовых газов тепловых электростанций путем утилизации сточных вод. Утилизации подлежат высокоминерализованные сточные воды технологической установки очистки воды методом ионного обмена, включающей Н-катионитные и ОН-анионитные фильтры, а также сбросная продувочная вода барабанных котлов со значением рН, равным 11,5-12. Разработан проект технологического решения, включающий

тепломеханическую схему, раздел оценки воздействия на окружающую среду, схему автоматического управления процессом и схему электроснабжения устанавливаемого оборудования. В настоящее время проект проходит независимую экспертизу. Внедрение технологии десульфатизации дымовых газов путем утилизации сточных вод планируется на тепловой электростанции столицы Республики Казахстан в 2020 году. При внедрении проекта необходимо: включить в разработанную технологическую схему существующий бак промывки объемом 75 м<sup>3</sup>; проложить трубопровод диаметром 57 мм для сбора сбросной продувочной воды от расширителей непрерывной продувки и трубопровод диаметром 89 мм к устанавливаемому новому расширителю продувки на улицу; установить дополнительный расширитель продувки, предназначенный для полной конденсации продувочного пара, на отметке 9 метров для нижнего выхода продувочной воды; проложить трубопровод диаметром 89 мм от нового расширителя с улицы в бак-накопитель; проложить трубопровод диаметром 89 мм подачи сбросной воды из баков-нейтрализаторов в верхнюю часть бака-накопителя на уровне 6 отметки; установить насос ХО80-50-200, выполненный из химически стойкого к коррозии сплава для подачи сбросной воды из бака-накопителя в баки оросители котельных агрегатов; проложить трубопровод подачи сбросной воды из бака-накопителя в баки-оросители котельных агрегатов; в технологическую схему устанавливаются регулируемая задвижка с электроприводом, ручная запорная арматура и обратный клапан. Разработанные технические решения позволят обеспечить повышение степени улавливания оксидов серы с 12% до 48%.

Охрана окружающей природной среды при эксплуатации тепловых электрических станций заключается в осуществлении комплекса технических решений по предотвращению отрицательного воздействия на окружающую природную среду. Было разработано технологическое решение по снижению объемов выбросов оксидов серы основным оборудованием ТЭЦ-2 АО «Астана-Энергия» (котельными агрегатами БКЗ-420-140, станционные номера № 1-6) в период эксплуатации с использованием сбросной продувочной воды котлов и сбросной воды ионитных фильтров с баков-нейтрализаторов водоподготовительной установки. Площадка тепловой электростанции ТЭЦ-2 расположена в северной промышленной зоне города Нур-Султан (Астана). Расстояние (в метрах) до жилого массива представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Расстояние от электростанции до жилых построек

Румбы направлений	Север	Северо-Восток	Восток	Юго-Восток	Юг	Юго-Запад	Запад	Северо-Запад
-------------------	-------	---------------	--------	------------	----	-----------	-------	--------------

Расстояние до жилого массива	-	-	-	4900	3200	2650	3000	-
------------------------------	---	---	---	------	------	------	------	---

Экологическая составляющая устойчивого развития региона является важным фактором территориального развития города. В свою очередь обеспечение стабильного развития окружающей человека среды – одно из условий устойчивого развития страны.

Основная доля выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от ТЭЦ-2 приходится на организованные выбросы с уходящими газами через дымовые трубы – порядка 99 % от общего количества выбросов. В их составе пять загрязняющих веществ (ЗВ), образующихся при сжигании угля в котлах: диоксиды и оксиды азота, диоксиды серы, оксид углерода, пыль неорганическая (зола угольная). Доля других загрязняющих веществ в общем объеме выбросов ТЭЦ-2 составляет менее 1,0 %.

Достигнутое среднее содержание загрязняющих веществ на энергетических котлах БКЗ-420-140 и КПД очистки по данным измерений лаборатории охраны окружающей среды АО «Астана - Энергия» в 2016 – 2017 годах представлены в таблице 2 и диаграмме на рисунке 1.

Площадка реконструкции системы сжигания топлива, находится на территории действующей теплоэлектростанции ТЭЦ-2. Расположена площадка в существующем здании главного корпуса, в котельном отделении.

За условную отметку 0,000 м принята отметка чистого пола главного корпуса, что соответствует абсолютной отметке 357,300.

Таблица 2 – Концентрация загрязняющих веществ в уходящих газах паровых котлов по данным инструментальных замеров 2016–2017 гг.

Станционный номер котла	Нагрузка котла	Концентрации ЗВ в уходящих газах, мг/нм <sup>3</sup> при O <sub>2</sub> =6%				Средний эксплуатационный КПД очистки, %	
		окислы азота	диоксид серы	оксид углерода	зола угольная	диоксид серы	зола угольная
		1	390	1100	1750	150	400
2	375	1160	1500	150	400	10	99,35
3	420	570	1682	150	406	10	99,35
4	390	570	1671	150	400	10	99,49
5	420	570	1740	150	400	10	99,26
6	418	740	1800	150	400	10	99,39

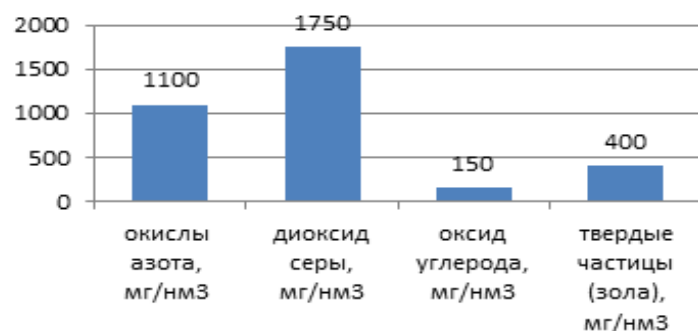


Рисунок 1– Средняя концентрация загрязняющих веществ

По данным, предоставленным АО «Астана-Энергия», объем дымовых газов от каждого котельного агрегата БКЗ-420-140 ТЭЦ-2 после батарейного эмульгатора при нормальных условиях в среднем составляет:

- котел № 1 – 176,515 нм³/сек или 635 454 нм³/час;
- котел № 2 – 162,431 нм³/сек или 584 751,6 нм³/час;
- котел № 3 – 267,776 нм³/сек или 963 993,6 нм³/час;
- котел № 4 – 172,543 нм³/сек или 621 154,8 нм³/час;
- котел № 5 – 194,238 нм³/сек или 699 256,8 нм³/час;
- котел № 6 – 180,161 нм³/сек или 648 579,6 нм³/час.

Температура дымовых газов от каждого котла БКЗ-420-140 ТЭЦ-2 после батарейного эмульгатора при нормальных условиях в среднем составляет:

- котел ст.номер 1 – 69,5 °С;
- котел ст.номер 2 – 67,5 °С;
- котел ст.номер 3 – 68,5 °С;
- котел ст.номер 4 – 65 °С;
- котел ст.номер 5 – 65 °С;
- котел ст.номер 6 – 69 °С.

Объемы и качество продувочной воды из расширителей непрерывной продувки для котлов выборочно представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Объем, состав, жесткость, рН и щелочность продувочной воды по некоторым котлам в среднем

Ст.№ к/а	Нагрузка, т/ч	% в/п	Щ, мг-эquiv/дм³	Ж, мкг-эquiv/дм³	Продувка, т/сут	рНсреднее
№1	350	0,9	141,1/131,7	0,5	75,6	9,81
№2	340	0,6	167,5/141,7	0,5	48,96	9,86
№3	330	1,0	202,6/135	0,5	79,2	9,86
№5	340	1,0	226,2/198,3	0,5	81,6	10,0

Объем непрерывной продувки составляет 0,5 – 1 % от производительности котла.

Качество осветленной воды с золоотвала, подаваемой в батарейные эмульгаторы:

- щелочность общая ШО = 0,7 мг-эquiv/дм³;
- жесткость общая Жо = 32,0 мг-эquiv/дм³;
- хлориды Cl- = 980,0 мг/дм³;
- сульфаты SO42- = 683,0 мг/дм³;
- сухой остаток = 4600,0 мг/дм³.

Таблица 4 – Анализ материальных балансов баков-оросителей батарейных эмульгаторов

Станционный номер котла	Объем осветленной воды на орошение без добавления продувочной воды, м³/ч	рН осветленной воды	Объем продувочной воды, м³/ч	рН продувочной воды после расширителя продувки 2 ступени, среднее
№1	127,1	7,1	3,15	11,5-12
№2	116,95	7,1	2,04	11,5-12
№3	192,8	7,1	3,3	11,5-12
№4	124,23	7,1	3,1	11,5-12
№5	139,9	7,1	3,4	11,5-12
№6	129,7	7,1	3,2	11,5-12
Итого	830,68		18,19	

В данном проекте для повышения степени улавливания оксидов серы из дымовых газов предлагается использование сбросных сточных вод водоподготовительной установки с высоким содержанием и сбросной продувочной воды после расширителей непрерывной продувки 2 ступени с рН, равной 12, в батарейных эмульгаторах, установленных на котельных

агрегатах ст. №№ 1-6. При этом будет замещаться 42,13 тонн осветленной воды в час, что составляет 5,07 % от общего объема потребления осветленной воды, подаваемой с золоотвала для орошения батарейных эмульгаторов.

Среднесуточный баланс баков-нейтрализаторов:

- Регенерационные (щелочные + кислые) воды + отмывочные (обессоленная вода) – 301,2 тонн/сутки;
- Отмывочные воды – 202,4 тн/сутки;
- Вода после взрыхления – 70,86 тн/сутки;

Итого объем сбросных вод с баков - нейтрализаторов: 574,46 тонн в сутки или 23,94 тонн в час.

Итого средняя нагрузка накопительного бака составит:  $23,94+18,19=42,13$  тонн/час, максимальная нагрузка накопительного бака составит:  $23,94+6*4,5=50,94$  тонн/час

В соответствии с разработанным технологическим решением в данном проекте рассматривается использование сбросных сточных вод водоподготовительной установки с высоким содержанием и сбросной продувочной воды после расширителей непрерывной продувки 2 ступени с рН, равной 12, в батарейных эмульгаторах, установленных на котельных агрегатах, стационарные номера 1–6.

В проекте предусмотрены следующие технические мероприятия, направленные на снижение оксидов серы:

Установка на уличной площадке около внешней стены котельного цеха рядом с осью четвертого котла одного общего расширителя непрерывной продувки на стационарные котлы №№ 1–6 на уровне 6 отметки для полной конденсации продувочного пара, который будет подаваться из существующих четырех расширителей продувки, расположенных на 12 отметке котельного цеха;

Подача всей продувочной воды котлов ст. №№ 1–6 (со значением рН около 11,5–12) и всей сбросной воды (с высоким содержанием) из баков-нейтрализаторов химического цеха в бак-накопитель (существующий бак промывок, объемом 75 м<sup>3</sup>, который не используется в технологическом процессе более 6 лет);

Подача всей собранной сбросной воды из бака-накопителя в баки-оросители батарейных эмульгаторов стационарных котлов №№ 1–6 (БКЗ-420-140) с равномерным распределением между баками-оросителями в центр баков ниже уровня выхода перелива;

В настоящее время эксплуатационная степень улавливания оксидов серы в батарейных эмульгаторах на к/а ст. №№ 1–6 составляет в среднем 12 %. После монтажа технологической схемы использования сбросной воды в схеме очистки газов ожидается повышение степени улавливания оксидов серы до

48 %, что будет превышать нормативные показатели для такого вида схемы очистки газов на 36 %.

### Результаты и обсуждение

Для достижения результата необходимо выполнение следующих технических решений и монтажных работ:

Включение в схему использования сбросной воды для повышения степени улавливания оксидов серы в качестве бака-накопителя существующего бака промывки объемом 75 м<sup>3</sup> и высотой 6 метров, установленного на ремонтной площадке между четвертым и пятым котлами, который более 8 лет не был задействован в работе.

Прокладка трубопровода диаметром 57х3 сбора сбросной продувочной воды от расширителей непрерывной продувки №№ 1–4, расположенных на 12 отметке в котельном цехе со стороны турбинного цеха, и трубопровода диаметром 89х3 к устанавливаемому новому расширителю продувки на улицу.

Установка дополнительного расширителя продувки (22 м<sup>3</sup>/ч), предназначенного для полной конденсации продувочного пара, на улице напротив торца котельного агрегата №4 со стороны пятого котла. Расширитель устанавливается на отметке 9 метров для нижнего выхода продувочной воды.

Прокладка трубопровода диаметром 89х3 от нового расширителя с улицы в бак-накопитель. Продувочная вода самотеком подается в бак-накопитель, вход в который осуществляется в верхнюю часть бака на уровне 6 отметки.

Прокладка трубопровода диаметром 89х3 подачи сбросной воды из баков-нейтрализаторов в верхнюю часть бака-накопителя на уровне 6 отметки: врезка от трубопровода подачи сбросной воды из баков-нейтрализаторов водоподготовительной установки в систему ГЗУ, расположенного в котельном цехе на ремонтной площадке между четвертым и пятым котлами.

Установка насоса ХО80-50-200, выполненного из химически стойкого к коррозии сплава: производительность 50 м<sup>3</sup>/ч (13,9 л/с), напор 50 м.в.ст, допускаемый кавитационный запас – не более 4,5 м.в.ст., питание 380 В, потребляемая мощность 10,6 кВт, для подачи сбросной воды из бака-накопителя в баки-оросители котельных агрегатов ст. №№ 1-6;

Прокладка трубопроводов подачи насосом ХО80-50-200 сбросной воды из бака-накопителя в баки-оросители котельных агрегатов ст. №№ 1–6: один трубопровод прокладывается вдоль торца четвертого котла со стороны бака-накопителя и далее вдоль котлов ст. №№ 1–4 между батарейными эмульгаторами и дымососами; второй трубопровод прокладывается вдоль торца пятого котла со стороны бака-накопителя и далее вдоль котлов ст. №№ 5 и 6 между батарейными эмульгаторами и дымососами. Под каждым баком-оросителем устанавливается тройник с подачей сбросной воды вертикально

в баки-оросители в верхнюю часть. Чтобы избежать утечки сбросной воды в перелив бака-оросителя трубопровод углубляется в бак на 400-600 мм.

#### Выводы

1. Использование в существующих установках очистки дымовых газов сбросной воды с высоким содержанием позволяет повысить КПД сероулавливания до 28 %, использование сбросной щелочной продувочной воды котлов – до 52 %;

2. Впервые были проведены исследования по эффективности использования сточных вод для повышения степени очистки дымовых газов от оксидов серы для котельных агрегатов высокого давления.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Никитин, Д. П., Новиков, Ю. В.** Окружающая среда и человек. М. : Высшая школа, 1986.

2 **Ежова, Н. Н., Власов, А.С., Делицын, Л. М.** Современные методы очистки дымовых газов. Журнал «Экология промышленного производства», 2006, С. 50–57.

3 **Нолан, П. С.** Сероочистка дымовых газов на ТЭС // Энергетика. 1995. № 6. С. 15.

4 **Ахметшина, Н. Р., Беспалова, С. У.** Модернизация электрофильтров в целях сероулавливания из дымовых газов парогенераторов // Современные техника и технологии. Труды 5-й обл. науч.–практич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 1999 : Сб. статей. – Томск: Изд–во ТПУ. 1999. С. 73–74.

5 DeWit, EllartKostijin, VanYperenRence, BorsboonJohannes. Method for removing sulfur compounds from gas mixtures//Eur. Pat. Appl. EP 1, 116, 511. 2001.

6 «XXIII Научна конференция с международно участие ЕМФ 2018 – технически университет – София», сборник докладов «Энергия, экология, комфорт, самочувствие», секция «Теплоэнергетика и ядрена енергетика», София (Болгария), 2018, С. 29–32

7 **Златов, Н., Глазырин, С., Жумагулов, М., Айдымбаева, Ж.** Очистка сточных вод тепловых электростанций для обессеривания дымовых газов, Международная конференция по телекоммуникациям, информатике, энергетике и менеджменту (ТИЕМ) 2019 г., Кавала, Греция, 12– 14 сентября, 164–167 (2019). ISSN: 2367–8437

8 **Глазырин, С. А.** Варианты комплексного использования отходов ТЭС, Международная научная конференция : Качество образования : менеджмент, кредитная система обучения, достижения, проблемы, 213–215.

9 **Глазырин, С. А., Глазырин, А. И., Алияров Б. К.,** Установка углекислого газа малой производительности Ученые записки Павлодарского государственного университета (1998). ISBN: 1560–6120

10 **Колмогоров, Ю. Н., Сергеев, А. П., Тарасов, Д. А. Арапова, С. П.** Методы и средства научного исследования : учебник (Екатеринбург: Изд–во Урал, 2017)

11 **Глазырин, С. А. Глазырина, Н. С., Муканова, Б. Г.** Многопараметрическая оптимизация процесса очистки воды для тепловых электростанций, ICCSAM 2015 : 17–я Международная конференция по информатике и прикладной математике, Венеция, Италия, 13–14 апреля, 328–333 (2015)

12 **Glazyrin, S. A., Aidymbaeva, Z. A., Zhumagulov, M. G. and Dostiyarov, A. M.** Universal Installation for the integrated utilization of flue gases and wastewater from thermal power plants. E3S Web of Conferences High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020 (HSTED–2020) Prague, Czech Republic, May 14–15, 2020, Published online: 09 July 2020 E3S Web of Conferences 178, 01062 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801062>

13 **Айдымбаева, Ж. А., Достияров, А. М., Глазырин, А. И., Глазырин, С. А.** Патент на полезную модель : «Способ очистки дымовых газов энергетического котлоагрегата барабанного типа», № 2020/0389.2 РК НИИС

#### REFERENCES

1 **Nikitin, D. P., Novikov, Yu. V.** Okruzhayushhaya sreda i chelovek [Environment and people] Moscow : Higher school, 1986.

2 **Ezhova, N. N., Vlasov, A. S., Delitsyn, L. M.** Sovremenny`e metody` ochistki dy`movy`x gazov [Modern methods of cleaning flue gases]. Journal «Ecology of Industrial Production», 2006, pp. 50–57.

3 **Nolan, P. S.** Seroochistka dy`movy`x gazov na TE`S [Desulphurization of flue gases at TPPs] // Energetika. 1995. No. 6. P. 15.

4 **Akhmetshina N. R., Bepalova S. U.** Modernizaciya e`lektrofil`trov v celyax seroulavlivaniya iz dy`movy`x gazov parogeneratorov [Modernization of electrostatic precipitators for the purpose of sulfur trapping from flue gases of steam generators] // Modern equipment and technologies. Proceedings of the 5th region. scientific–practical conferences of students, graduate students and young scientists. Tomsk, 1999: Sat. articles. – Tomsk: TPU Publishing House. 1999. S. 73–74.

5 DeWit, EllartKostijin, VanYperenRence, BorsboonJohannes. Method for removing sulfur compounds from gas mixtures//Eur. Pat. Appl. EP 1, 116, 511. 2001.

6 «XXIII Nauchna konferenciya s mezhdunarodno uchastie EMF 2018 – texnicheski universitet – Sofiya», sbornik dokladov «Energiya, ekologiya, komfort,

samochuvstvie», sekciya «Термоэнергетика і yadrena energetika», Sofiya (Bolgariya) [“XXIII Scientific Conference with International Participation EMF 2018 – Technical University – Sofia”, Proceedings «Energy, Ecology, Comfort, Self-Esteem», Section “Heat and Nuclear Energy”, Sofia (Bulgaria)], 2018, p. 29–32.

7 **Zlatov, N., Glazyrin, S., Zhumagulov, M., Aidymbayeva, Z.** Ochistka stochny'x vod teplovy'x e'lektrostancij dlya obesserivaniya dy'movy'x gazov, Mezhdunarodnaya konferenciya po telekommunikacijam, informatike, e'nergetike i menedzhmentu (TIEM) 2019 g. [Wastewater treatment of the thermal power plants for desulfurization of flue gas, 2019 International Conference in Telecommunications, Informatics, Energy and Management (TIEM)], Kavala, Greece, 12–14 September, 164–167 (2019). ISSN: 2367–8437.

8 **Glazyrin, S. A.** Varianty' kompleksnogo ispol'zovaniya otkodov TE'S, Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya : Kachestvo obrazovaniya: menedzhment, kreditnaya sistema obucheniya, dostizheniya, problemy' [Options for the integrated use of waste TPP, International scientific conference : Quality of education : management, credit system of education, achievements, problems] 213–215.

9 **Glazyrin, S. A., Glazyrin, A. I., Aliyarov, B. K.** Ustanovka uglekislogo gaza maloj proizvoditel'nosti Ucheny'e zapiski Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta [Low-performance carbon dioxide plant. Scientific notes of Pavlodar State University] (1998). ISBN: 1560–6120

10 **Kolmogorov, Yu. N., Sergeev, A. P., Tarasov, D. A., Arapova, S. P.** Metody' i sredstva nauchnogo issledovaniya : uchebnik [Methods and means of scientific research : textbook] (Ekaterinburg : Publishing House Ural, 2017).

11 **Glazyrin, S. A., Glazyrina, N. S., Mukanova, B. G.,** Mnogoparametricheskaya optimizaciya processa ochistki vody' dlya teplovy'x e'lektrostancij, ICCSAM 2015 : 17-ya Mezhdunarodnaya konferenciya po informatike i prikladnoj matematike, Veneciya, Italiya, 13–14 aprelya, 328–333 (2015) [Multiparametric Optimization of Water Treatment Process for Thermal Power Plants, ICCSAM 2015 : 17th International Conference on Computer Science and Applied Mathematics, Venice, Italy, 13–14 April, 328–333 (2015)].

12 **Glazyrin, S. A., Aidymbayeva, Z. A., Zhumagulov, M. G. and Dostiyarov, A. M.** Universal Installation for the integrated utilization of flue gases and wastewater from thermal power plants. E3S Web of Conferences High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020 (HSTED–2020) Prague, Czech Republic, May 14–15, 2020, Published online: 09 July 2020 E3S Web of Conferences 178, 01062 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801062>.

13 **Aidymbayeva, Zh. A., Dostiyarov, A. M., Glazyrin, A. I., Glazyrin, S. A.** Патент на полезную модель: «Способ очистки дымовых газов энергетического котлоагрегата барабанного типа», № 2020/0389.2 РК НИИС [Utility model

patent : «Method for cleaning flue gas–energy boiler unit of drum type», No. 2020 / 0389.2 RK NIIS].

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

*С. А. Глазырин<sup>1</sup>, Г. Б. Варламов<sup>2</sup>, А. В. Седниш<sup>3</sup>, Ж. А. Айдымбаева<sup>4</sup>  
А. В. Нефтисов<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Евразиялық ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Украинаның Ұлттық техникалық университеті  
(И.Сикорский атындағы КПИ), Украина, Киев қ.,

<sup>3</sup>Беларусь ұлттық техникалық университеті, Беларусь, Минск қ.,

<sup>4</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс  
университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

<sup>5</sup>Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## ТҮТІНІҢ ГАЗДАРЫН ДЕСУЛЬФАРИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН ЖЭС ҚАЛДЫҚ СУЫН ПАЙДАЛАНУ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

*Мақалада ағынды суларды кәдеге жарату арқылы жылу электр станцияларының түтін газдарынан атмосфераға күкірт оксидтерінің шығарындыларын азайтудың әзірленген әдісі келтірілген. Көмір жылу электр станцияларының өнеркәсіптік қалдықтары қатты қалдықтар (қою, күл), сұйық қалдықтар (су дайындау қондырғыларының сарқынды сулары, тазарту конденсаты, сондай-ақ қазандық агрегаттарының үрлемелі сулары) және органикалық отынның газ тәрізді жану өнімдері болып табылады. Электр станциясының сұйық қалдықтарын пайдалану арқылы газ тәрізді жану өнімдерін тазарту технологиялары жасалды.*

*Мақалада ағынды суларды кәдеге жарату арқылы жылу электр станцияларының түтін газдарынан атмосфераға күкірт оксидтерінің шығарындыларын азайтудың әзірленген әдісі келтірілген. Н-катионитті және ОН-анионитті сүзгілерді, сондай-ақ рН мәні 11,5–12-ге тең барабан қазандықтарының ағызу үрлеу суын қамтитын ион алмасу әдісімен суды тазартудың технологиялық қондырғысының жоғары минералданған сарқынды сулары кәдеге жаратылуға жатады. Жылу механикалық схеманы, қоршаған ортаға әсерді бағалау бөлімін, процесті автоматты басқару схемасын және Орнатылатын жабдықты электрмен жабдықтау*

*схемасын қамтитын технологиялық шешім жобасы әзірленді. Қазіргі уақытта жоба тәуелсіз сараптамадан өтуде. 2020 жылы Қазақстан Республикасы астанасының жылу электр станциясында сарқынды суларды кәдеге жарату жолымен түтін газдарын күкіртсіздендіру технологиясын енгізу жоспарлануда.*

*Кілтті сөздер: күкірт оксидтері, ағынды су, кәдеге жарату, жылу электр станциялары, түтін газдары.*

S. A. Glazyrin<sup>1</sup>, G. B. Varlamov<sup>2</sup>, A. V. Sednin<sup>3</sup>, Zh. A. Aidymbayeva<sup>4</sup>,  
A. V. Neftisov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Head of the Department of Thermal Power Engineering, LN Eurasian National University Gumilyov, Republic of Kazakhstan, Astana,

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine (KPI named after I. Sikorsky), Ukraine, Kiev,

<sup>3</sup>Belarusian National Technical University, Belarus, Minsk,

<sup>4</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty,

<sup>5</sup>Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana

Material received on 15.12.22

### **EFFECTIVE USE OF STORM WATER AT TES FOR DESULFURIZATION OF SMOG GAS**

*The article presents a developed method for reducing emissions of sulfur oxides into the atmosphere from flue gases of thermal power plants by recycling wastewater. Industrial waste from coal-fired thermal power plants is solid waste (slag, ash), liquid waste (wastewater from water treatment plants, condensate cleaning, as well as purge water from boiler units) and gaseous products of organic fuel combustion. Technologies have been developed for the purification of gaseous combustion products by using liquid waste from the power plant.*

*The article presents a developed method for reducing emissions of sulfur oxides into the atmosphere from flue gases of thermal power plants by recycling wastewater. Highly mineralized wastewater from an ion exchange water treatment plant, including N-cationite and OH-anionite filters, as well as waste purge water from drum boilers with a pH value of 11.5–12, are subject to disposal. A design of a technological solution has been developed, including a thermal mechanical circuit, an environmental impact assessment section, an automatic process control circuit and an electrical supply circuit for the installed equipment. The project is currently undergoing an*

*independent review. The introduction of flue gas desulfurization technology by waste water disposal is planned at the thermal power plant of the capital of the Republic of Republic of Kazakhstan, in 2020.*

*Keywords: sulfur oxides, waste water, utilization, thermal power plants, flue gases.*

[doi.org/10.48081/EJAB6040](https://doi.org/10.48081/EJAB6040)

**\*A.K. Zhumaliyeva<sup>1</sup>, B. Bakhtiyar<sup>2</sup>, A.K Mergalimova<sup>3</sup>,  
A. Zhauf<sup>4</sup>, G. U. Tursunbaeva<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Kazakh agrotechnical University S. Seifullina,  
Republic of Kazakhstan, Astana,

<sup>4</sup> Gumarbek Daukeev Almaty University of Power Engineering and  
Telecommunications, Republic of Kazakhstan, Almaty,

<sup>5</sup> Academy of logistics and transport, Republic of Kazakhstan, Almaty,

## **TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ELECTRICITY GENERATION AT STATIONS**

*Abstract. Types of fuel for thermal power plants are considered. In the scheme of the technological process of the heating station, it is written that it provides for five cycles. They are fuel, air, water, steam and electricity. The first three belong to raw materials, and from it comes the final product – electricity. Now consider these cycles separately and note the main mechanisms of their own needs, which perform each complex. Steam enters the condenser, which is located through the turbine stages, on top of the turbine, inside the foundation. It is described here that a steam condenser, by cooling with circulating water, condenses and turns into condensate, that is, into chemically pure water used to supply boilers. The water cycle is characterized by four divisions, uses. When burning all types of fuel in boilers, the amount of air injected is calculated by chemical reactions, which ensures that the fuel in the burners burns out completely. To prevent the fuel from burning chemically, the amount of air injected into the burner is taken 1–5 % more than the specified amount of air. The technological scheme for obtaining and burning coal dust is shown. In this article, we briefly focused on the recent functioning of modern technological Le Els of power plants and considered the saving of fuel for our country.*

*Keywords: Boiler Shop, fuel, air, water, steam, electricity.*

### **Introduction**

In modern energy, thermal power plants play an important role. Coal and a fuel oil of various brands are used as fuel for thermal power plants. Coal-fired stations have a much greater specific weight since low-value varieties of brown

coal are burned there, which are often not used in the metallurgical and chemical industries. There are features of the use of firewood: pre-grinding coal and turning it into dust, which ensures complete combustion of firewood. The main production shops of thermal power plants include fuel supply, pollen preparation devices, Boiler Shop, Machine Room, and Power Distribution devices. Each workshop houses the corresponding units and mechanisms equipped with an electric drive. Most of the electric motors that drive various production mechanisms of the main workshops belong to farms that cover their own needs, in addition, these farms include lighting, as well as other additional workshops and devices, such as compressor units, batteries, oil farms, etc.

### **Materials and methods**

In the scheme of the technological process of the heating station, five cycles can be noted: fuel, air, water, steam, and electricity.

The first three belong to raw materials, and from them comes the final product – electricity.

Now, considering these cycles separately, we note the main mechanisms of their own needs, which perform each complex.

The fuel tank is equipped with Bridge shuttles that run the width of the warehouse. Sometimes, instead of them, fixing winches (pulleys) are used, which dig up coal to the place of storage, temporarily put it and load it into a belt conveyor (conveyor) that sends coal. The crusher cuts the coal and grinds it to a certain size [1].

After timekeeping, coal enters the untreated (wet) coal bunker through inclined closed fuel supply overpasses.

Fuel delivery is carried out through two «threads» of the conveyor for mutual fund-raising.

From untreated coal bunkers, fuel enters the mills, turning into dust. Pollen enters and settles in special devices–cyclones–through the Mill fan, leaves the Cyclones, and enters the pollen bunkers located between the coal bunkers. Usually, at this stage, coal dust is dried with steam.

So, pollen from the pollen Hopper enters the boiler through screw transporters–izhek and sends through the pollen feeders to the burners. The air required for the pollen feeder is taken from the air system of the mill fans.

Slag and ash are discharged into the ash Hopper located under the boiler, removed from it by an ejector pump, and carried to the ash dump using a washer pump in pipes and open channels [2].

Air. For the fuel to burn out completely, oxygen is required, which is supplied in the form of additional air with the help of blower fans. Before entering the burner, the air is heated. For this purpose, heat from exhaust flue gases is used. At first, these gases with a temperature of 600 degrees pass through the water economizer,



and from there they enter the air heater at a sufficiently high temperature of 350–400 degrees. The air heater is divided into several channels parallel to each other, in which gas with air moves against each other to improve heat transfer. After the air heater, gas at a temperature of 120–150 degrees passes through the ash trap and moves towards the chimney, where the smoke comes out. The gas moves from the exhaust chimney under the action of a natural force, where the desired height of the exhaust chimney must be present and the traction force is additionally provided by smoke hoods, that is, fans that create the necessary thinning.

Steam. In modern power plants, two types of steam boiler drums and direct flow are used. In boilers of the first type, the process of evaporation of water takes place in pipes located vertically to the boiler burner.

At the bottom of the pipe, the pipes are connected in two collectors, and at the top, they enter the drum located horizontally [3].

The water level in the drum comes approximately to the middle of the drum, the higher part of the drum is used as a steam collector. After that, the steam passes through the heater, dries up and enters the turbine. The Steam capacity of drum boilers is about 400 T / H.

Direct-flow boilers do not have Steam collectors, and during the operation of the boiler, steam passes through the steam boiler, which is built in a spiral (spiral), and moves to the turbine. If water does not come to such a boiler, the lower layers of pipes located in the high-temperature burner zone will burn out. Therefore, it is necessary to provide a large amount of electricity that goes to aggregate installations (supply pumps) that fulfill their own needs, as well as using steam turbine drive supply pumps [4].

Direct-flow boilers are built in the context of using unlimited steam productivity from 600 to 3000 t/h. As a rule, each of them, connected directly to the turbine and in conjunction with the generator, forms a single whole.

### Results and discussion

Steam enters the condenser, which is located through the turbine stages, on top of the turbine, inside the foundation.

Here, the Steam condenser is condensed and converted into condensate by cooling with circulating water, that is, into chemically pure water used to supply boilers.

The very name «condensing» came to power plants from the fact that used water is cooled in a condenser, not counting the amount of steam released from the turbine, which is used to heat it.

In a modern boiler, high pressure of up to 100–170 horses is used, and steam heating up to 530–600C is used, which increases the efficiency of installations.

The vapor liquefaction in the condenser is 0.03–0.04 horses. to, through the ejector is carried out.

Still-used Steam has a high heat content, and since combustion losses are always high with cooled circulating water, the efficiency of such stations does not exceed 40–42%. This, of course, indicates that more than 1/3 of the fuel heat output capacity is not spent. But condensing stations can be built at a capacity of 2400MW or higher, which dramatically reduces capital costs and ensures a lower cost of electricity.

### The water cycle was divided into four :

1 Steam cooling circulating water in the condenser is removed from the reservoir by coastal pumps and poured into the condensers. From the condenser, the bypass flows back to the reservoir on its own.

Depending on the capacity of the station, the cooling surface of the reservoir should be of the appropriate volume. Condensate is drawn out of the condenser by condensate pumps, passes through Low-Pressure Heaters, and enters the deaerator.

2 additional water from the reservoir, passing through a chemical water purifier, enters the condensate deaerator, which replenishes the losses lost as a result of evaporation. The name «deaerator» indicates that the water used is separated from the air oxygen dissolved in it. We heat the water and release oxygen, otherwise, the water oxygen will cause the pot metal to corrode.

3 from condensate and additional water, we get the necessary used water for the boiler. It is poured into the boiler through supply pumps. At first, the water passes through high-pressure heaters and enters the economizer, where it warms up to a temperature of about the temperature of the water in the boiler, after which the water used is poured into the boiler.

Repeated heating of water used based on steam, which is separated from different stages of turbines, is called regenerative, which provides a smooth increase in the thermal power unit.

4 electricity. In one unit with the turbine, a synchronous generator is located. The stations under consideration are usually built in places of fuel production, away from consumers who use electricity directly. The generators of the stations are power transformers with a block attached to the pulleys, which produce electric energy, transmitted through high voltage Composite busbars of 35–110 KW and the power transmission of the power system. In places where the power of the station is consumed by tens, hundreds, and thousands of KM, directly depending on the voltage, there will be substations with step-down transformers. In addition, thermal power centers form a connection with other stations or power systems for mutual power exchange [4].

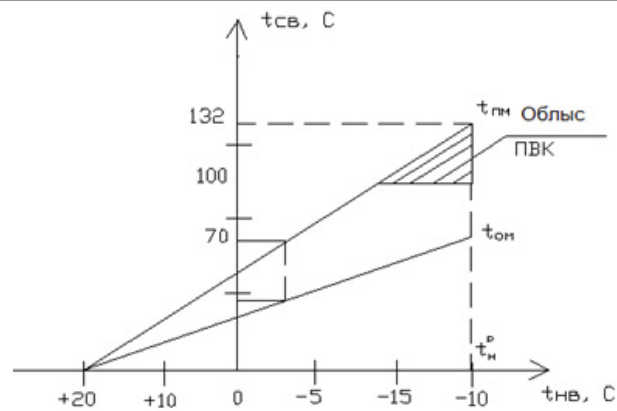


Figure 1 – temperature graph of Heat Supply

After separating light fractions from wet oil: gasoline, kerosene, solarium oil, and other so-called motor fuels, that is, lower-level fractions used for the work of Automobile, tractor, and diesel engines, the fuel oil is sheltered from wet oil. There are different grades of fuel oil «10» and «40», which are distinguished from each other depending on the moisture and ash content. Fuel oil has a very high heat dissipation capacity: 1kg – up to 9420–9850 kcal.

The fuel oil is pumped into the burner through a nozzle, converted into pollen with the help of hot air, and burned. The flash point of fuel oil is much lower than that of coal pollen, so fuel oil nozzles are easier to burn. Pollen is burned using fuel oil from a coal burner. During the winter, there are some difficulties with the extraction of fuel oil from railway tanks, which are in such a state as oil (Smola) that you have to heat it with steam.

As an energy gas fuel in gas fuel electric stations, a mixture of propane and butane gases is most often used – natural gas. The composition of natural gas: methane CH<sub>4</sub>–60–80 %, hydrogen–10–30 %, other hydrocarbons 4–16 %.

The combustion year of the gas is between 7000–5000 kcal / m<sup>3</sup> relative to the pressure of the atmosphere [5].

Thanks to the use of gas, you can easily master the capacity of power plants, ensuring cleanliness. Air is injected into the gas laces to burn the required amount of gas along with the gas. To increase the efficiency of the Boilers, the air supplied to the laces is heated. When burning all types of fuel in boilers, the amount of air injected is calculated by chemical reactions, which ensures that the fuel in the burners burns out completely. To prevent the fuel from burning chemically, the amount of air injected into the burner is taken 1–5 % more than the specified

amount of air. The technological scheme for obtaining and burning coal dust is shown in Figure 1.2. [6].

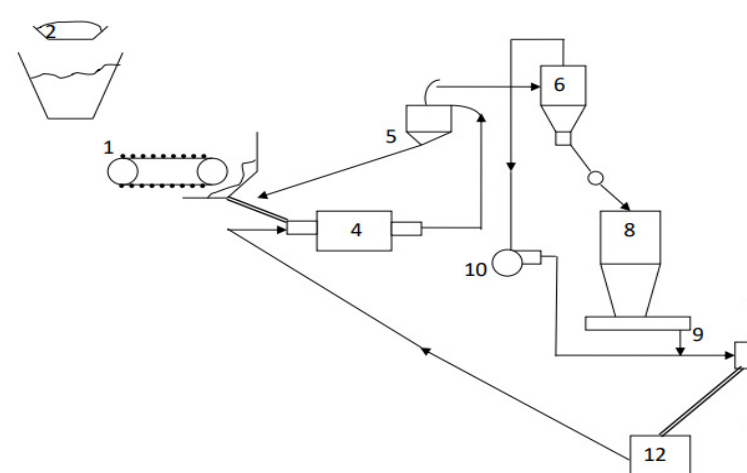


Figure 2 – technological scheme for obtaining and burning coal dust

1–wet, unproduced coal hopper; 2–belt conveyor for transporting coal from the warehouse; 3–coal mill with a deposit absorber; 4–conventional drum mill 18–25 rpm, ball–30 mm; 5–pollen separator. Due to the swirl of air in the separator, the large piece of iron loses its strength and is directed back to the mill. Thinned pollen enters cyclone 6 along the pipes, cyclone 6 serves to deprive pollen of air. 90 % of the pollen is collected and deposited in the cone-shaped part, and from the pollinated air Fan 10 is sucked in and enters the lace (gorelka), 7 the device that delivers the pollen to the intermediate Hopper; 8 – the intermediate Hopper of the finished pollen; 9–the glass absorber that delivers the pollen from the hopper to the 8–injectors; 10–the fan that sucks the pollinated air from the cyclone 6 and sends it from the absorber to the 9–October injectors; 11 – dust coal nozzle, which is mixed with hot air through and the hot mixture is sent to the boiler burner; there are several such nozzles in Kazan: up to 4–15 pieces: a hot air collector up to 12–400 degrees. Hot air is supplied to mill–4, draining the coal, and the dust is sent to separator–5 and cyclone–6. Hot air from the Collector enters the nozzle – 11 and, together with air from the fan – 10, is used to burn dust into the boiler fuel [1].

### Conclusion

In power plants, on average, the specific gravity of fuel costs is 75 % of all costs, so fuel savings and its 1kW .reducing the share of spending on H–brings more benefits to the economy of the country [2].

In this article, we briefly focused on the recent functioning of modern technological Le Els of power plants and considered the saving of fuel for our country.

#### Financing.

The article was carried out with the financial support of the KN of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, within the framework of the IRN AP13068541 project «Development of an experimental energy complex based on a modernized boiler plant using biofuels» under contract No. 126–KMUZ dated May 20, 2022.

#### REFERENCES

- 1 Sokolov, S. Ya., «Otoplenie i teplovye seti», [Heating and heat networks], – Moscow, Energoatomizdat, 1982. – 360 p.
- 2 Elizarov, D. P. «Teplovye elektrostancii elektrostancij» [Thermal power plants of power plants], – Moscow, Energoatomizdat, 1982. – 264 p.
- 3 Volkov, E. P., Vedyayev, V. A., Obrezkov, V. I., «Silovye ustanovki elektrostancij», [Power plants of power plants], – Moscow, Energoatomizdat, 1983. – 280 p.
- 4 Orumbayev, R. K., Bakhtiyar, B. T., Umyshev, D. R., Otyunchiyeva, M. T., Akimbek, G. A., «Eksperimental'noe issledovanie zol'nogo iznosa teploobmennyyh poverhnostej kotla», [Experimental study of ash wear of heat exchange surfaces of the boiler], Energy, 2021, 215, 119119
- 5 Averbukh, A. M., «Relejnaya zashchita v zadachah s resheniyami i primerami» [Relay protection in problems with solutions and examples], – Moscow : Energiya, 1975. – 416 p.
- 6 Chernobrov, N. V., Semenov, V. A., «Relejnaya zashchita elektroenergeticheskikh system» [Relay protection of electric power systems], – Moscow : Energiya, 1998. – 610 p.
- 7 Shabad, M. A., «Raschety relejnoj zashchity», [Calculations of relay protection], – Moscow: Energiya, 1986. – 243 p.
- 8 Knyazevsky B. A., «Ohrana truda» [Labor protection. /2nd ed., reprint. and additional/], – Moscow : Higher.
- 9 Ryzhkin, V. Ya., «Teplovye elektricheskie stancii : Dlya studentov vuzov. 3–e izd.» [Thermal power stations: For university students. 3rd ed.], – Moscow : Energoatomizdat, 1987.– 328 p.
- 10 Girshfeld V. Ya., Knyazev A. M., Kulikov V. E., «Rezhimy roboty i ekspluatatsiya TES», [Operating modes and operation of thermal power plants], – Moscow : Energy, 1973

Material received on 15.12.22

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Соколов, С. Я., Отопление и тепловые сети, – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 360 с.
- 2 Елизаров, Д. П., Тепловые электростанции электростанций, – Москва, Энергоатомиздат, 1982. – 264 с.
- 3 Волков, Е. П., Ведяев, В. А., Обрезков, В. И., Силовые установки электростанций, – Москва, Энергоатомиздат, 1983. – 280 с.
- 4 Орумбаев, Р. К., Бахтияр, Б. Т., Умышев, Д. Р., Отынчиева, М. Т., Акимбек, Г. А., Экспериментальное исследование зольного износа теплообменных поверхностей котла, Энергетика, 2021, 215, 119119
- 5 Авербух, А. М., Релейная защита в задачах с решениями и примерами, – М. : Энергия, 1975. – 416 с.
- 6 Чернобров, Н. В., Семенов, В. А., Релейная защита электроэнергетических систем, М.: Энергия, 1998. – 610 с.
- 7 Шабад, М. А., Расчеты релейной защиты, – М. : Энергия, 1986. – 243 с.
- 8 Князевский, Б. А., Охрана труда. /2–е изд., перераб. и доп./, – М. : Высш.
- 9 Рыжкин, В. Я., Тепловые электрические станции : Для студентов вузов. 3–е изд., – М. : Энергоатомиздат, 1987.– 328 с.
- 10 Гиршфельд, В. Я., Князев, А. М., Куликов, В. Е., Режимы работы и эксплуатация ТЭС, – М. : Энергия, 1973.

\*А. К. Жумалиева<sup>1</sup>, Б. Бахтияр<sup>2</sup>, А. К. Мергалимова<sup>3</sup>,  
А. Жауыт<sup>4</sup>, Г. У. Турсунбаева<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Астана қ., Қазақстан Республикасы

<sup>4</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және телекоммуникация  
университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

<sup>5</sup> Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы  
Материал баспаға 15.12.22 түсті.

#### СТАНЦИЯЛАРДА ЭЛЕКТРЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРІ

*Жылу электрстанцияларының отын түрлерін қарастырылған.  
Жылу станциясының технологиялық процесінің схемасында бес  
циклды қарастырғаны жазылған. Олар отын, ауа, су, бу және электр  
энергиясы. Алғашқы үшеуі шикізатқа жатады, ал одан ақырғы  
өнім – электр энергия шығады. Енді осы циклдарды жеке – жеке*

қарастырып, әр комплексті атқаратын өзіндік ұқтаждардың негізгі механизмдерін атап өтілген. Бу турбина сатылары арқылы, турбина үсті, фундамент ішінде орналасқан конденсаторға келіп түседі. Мұнда бу конденсаторы циркуляциялық сумен салқындату арқылы қюоланып, конденсатқа айналады, яғни қазандарды жабдықтауға қолданылатын химиялық таза суга айналатыны сипатталған. Су айналымы төрт бөліндісі, қолданысы сипатталған. Қазандарда отынның барлық түрлерін жағу кезінде енгізілетін ауа мөлшері химиялық реакциялар бойынша есептелінеді, бұл оттықтардағы отынның толығымен жанып кетуін қамтамасыз етеді. Отынның химиялық тұрғыдан жанбай қалуын болдырмау үшін, оттыққа енгізілетін ауа мөлшері, белгіленген ауа мөлшерінен 1–5 % артығырақ алынады. Көмір тозаңын алу және жағу технологиялық схемасы көрсетілген. Берілген мақалада электр станциялардың қазіргі таңдағы технологиялық сұлбаларының жалпы соңғы уақыттағы жұмыс істеуіне қысқаша тоқталып, отынның елімізге үнемделуі қарастырылды.

*Кілтті сөздер:* қазан цехы, отын, ауа, су, бу, электр энергия.

\*А.К. Жумалиева<sup>1</sup>, Б. Бахтияр<sup>2</sup>, А.К. Мерғалимова<sup>3</sup>,

А. Жауыт<sup>4</sup>, Г. У. Турсунбаева<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Қазақстан аграрлық-техникалық университеті им. С. Сейфуллина,

г. Астана, Республика Қазақстан

<sup>4</sup>Алматын аймақ энергетика және телекоммуникация университеті им.

Гумарбека Даукеева, Алматы, Республика Қазақстан

<sup>5</sup>Академия логистика және транспорт, г. Алматы, Республика Қазақстан.

Материал постуыл 15.12.22.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СТАНЦИЯХ

*Рассмотрены виды топлива тепловых электростанций. В схеме технологического процесса теплостанции написано, что предусмотрено пять циклов. Это топливо, воздух, вода, пар и электричество. Первые три относятся к сырью, а из него выходит конечный продукт – электричество. Теперь рассмотрим эти циклы по отдельности и выделим основные механизмы собственных нужд, выполняющие каждый комплекс. Пар поступает через ступени турбины в конденсатор, расположенный внутри над турбиной, фундамента. Здесь описывается, что паровой конденсатор сгущается и конденсируется путем охлаждения циркуляционной*

*водой, то есть превращается в химически чистую воду, используемую для оснащения котлов. Описаны четыре раздела круговорота воды, Применение. Количество воздуха, вводимого при сжигании всех видов топлива в котлах, рассчитывается по химическим реакциям, что обеспечивает полное сгорание топлива в топках. Во избежание химического воспламенения топлива количество воздуха, вводимого в топку, берется на 1–5% больше установленного количества воздуха. Разработана технологическая схема получения и сжигания угольной пыли. В данной статье кратко остановились на работе современных технологических процессов электростанций в целом за последнее время, а также была рассмотрена экономия топлива в стране.*

*Ключевые слова:* Котельный цех, топливо, воздух, вода, пар, электричество.

**\*Д. Д. Исабеков<sup>1</sup>, А. Б. Бекбауов<sup>2</sup>, О. М. Талипов<sup>3</sup>,  
М. К. Бейсембаев<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

*Одной из нерешенных проблем современной электроэнергетики считается построение релейной защиты высоковольтных электроустановок без использования традиционных трансформаторов тока (ТТ) с ферромагнитными сердечниками, о чем не раз упоминалось на международных конференциях по большим энергетическим системам (CIGRE). Известно, что данные трансформаторы тока являются металлоемкими, громоздкими с дорогой изоляцией. В настоящей статье автор предлагает токовую защиту электроустановок, выполненную на катушках индуктивности, на примере её реализации в ячейке КРУ. Катушки индуктивности были выбраны с связи с тем, что они обладают рядом важных для релейной защиты преимуществ по сравнению с другими магниточувствительными элементами. На сегодняшний день разработаны принципы построения токовых защит на таких элементах. Однако для целого ряда электроустановок в широком плане не рассматривались вопросы, касающиеся самой возможности использования катушек индуктивности для построения данных защит. В представленной статье сделана попытка решить вопросы при разработке токовых защит электроустановок на катушках индуктивности, питающихся от комплектных распределительных устройств (КРУ) напряжением 6-10 кВ. Представленная токовая защита позволяет осуществить выбор уставок, посредством дистанционного перемещения катушки индуктивности, относительно плоскости токоведущей шины с помощью микродвигателя, а отсутствие использования металлоёмких и дорогостоящих трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками уменьшает материальные затраты на построение токовых защит для электроустановок любого типа и класса напряжения.*

*Ключевые слова: катушка индуктивности, пластина, токоведущая шина, микродвигатель, усилитель напряжения.*

### **Введение**

Создание ресурсосберегающих устройств релейной защиты электроустановок от коротких замыканий без применения металлоемких трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками было начато во второй половине прошлого столетия, остающиеся актуальными и по сегодняшний день. Как известно, сейчас широко используются устройства релейной защиты, выполненные на микропроцессорной базе, надежность которых не выше, чем у электромеханических или полупроводниковых, у которых имеется помимо прочего уязвимость-подверженность кибератакам извне, а стоимость в десятки и сотни раз выше. Для повышения надежности необходимо дублирование ТТ и защиты, от которых они получают информацию [1÷6]. Одним из перспективных путей построения устройств релейной защиты без ТТ является использование катушек индуктивностей, которые имеют преимущества в сравнении с другими магниточувствительными элементами [7÷8]. В последние десятилетия разработан ряд альтернативных защит с методикой расчета их тока срабатывания. Действие защит выполненных с использованием катушек индуктивностей, помещенных вблизи токоведущих фаз электроустановки основано на воздействии на них магнитного поля, возникающего при коротком замыкании [9÷10]. Разработанная токовая защита предлагает новый подход в выполнении релейной защиты. Остановившись на катушке индуктивности надо сказать, что она устанавливается внутри ячейки КРУ и реагирует на магнитный поток от тока своей токоведущей шины, напротив которой она установлена.

Методы и результаты исследования: детальная проработка научных статей и патентных баз по данной тематике в результате исследования, позволила предложить новую конструкцию токовой защиты для различных электроустановок.

### **Результаты и обсуждение.**

Токвая защита электроустановок, представленная в виде конструкции, содержит пластину 1 на которой установлена катушка индуктивности 2, токоведущая шина 3 (рис.1,а,б). Пластина 1 прикреплена к центральному 4 и боковым 5 держателям. Центральный держатель 4 прикреплен к ремню 6, с возможностью перемещения по нему относительно токоведущей шины 3. Боковые держатели 5 прикреплены к ходовым осям 7, а их концы прикреплены к двум поддерживающим стойкам 8, закрепленных на нижнем основании кабельного отсека 9 ячейки КРУ. На одной из поддерживающих

стоек 8 закреплен микродвигатель 10, к которому прикреплен первый зубчатый шкив 11. На другой поддерживающей стойке 8 закреплён второй зубчатый шкив 12 (рис. 1а,б). Микродвигатель 10, ремень 6, первый 11 и второй 12 зубчатый шкивы представляют из себя передвижной механизм для перемещения катушки индуктивности 2 к или от токоведущей шины 3— для изменения уставки срабатывания защиты. Выводы катушки индуктивности 2 подключены ко входу усилителя напряжения 13, где его первый вывод подключен к полюсу «плюс» автоматического выключателя 14, а к выходу усилителя напряжения 13 подключен первый вывод обмотки 15 реле времени 16 с контактом с выдержкой времени на замыкание 17, подключенного также к полюсу «плюс» автоматического выключателя 14 (рис. 1в). К контакту 17 подключен первый вывод обмотки 18 промежуточного реле 19 с контактом на замыкание 20, подключенного к полюсу «плюс» автоматического выключателя 14. К выходу контакта на замыкание 20 подключен первый вывод обмотки 21 указательного реле 22, а к его контакту на замыкание 23 подключен первый вывод катушки отключения 24 выключателя 25 электроустановки. Микродвигатель 10 подключен к панели управления 26 с сенсорным дисплеем 27 (рис. 1г). Второй вывод усилителя напряжения 13, обмоток 18, 21 промежуточного и указательного реле, а также катушки отключения 24 подключен к полюсу «минус» автоматического выключателя 14. Вход панели управления 26 подключен к автоматическому выключателю 14. Усилитель напряжения 13, промежуточное 19 и указательное 22 реле, автоматический выключатель 14, панель управления 26 расположены в шкафу защиты 28 ячейки КРУ (рис. 1г).

Рассмотрим принцип работы токовой защиты электроустановок. В кабельный отсек 9 ячейки КРУ на безопасном расстоянии, равного 12 см от токоведущих шин 3 устанавливают три пластины 1 с катушками индуктивности 2 (рис. 1а,б). После включают автоматический выключатель 14, подавая питание на все элементы токовой защиты. На сенсорном дисплее 27 панели управления 26 высвечивается расстояние от токоведущих шин 3, на котором на данный момент находится к примеру пластина 1 фазы «А», например, 16 см. (рис. 1г) Затем нажатием виртуальной кнопки «Вперед» (на чертеже не показана) на сенсорном дисплее 27 запускают микродвигатель 10, который перемещает пластину 1 с катушкой индуктивности 2 ближе к токоведущим шинам 3. После того как на сенсорном дисплее 27 высветится необходимое значение расстояния, отпускаем виртуальную кнопку «Вперед» и как результат— катушка индуктивности 2 установлена на необходимом расстоянии от токоведущей шины 3 фазы А. Аналогично настраиваем расстояние для и остальных катушек индуктивности 2 фаз «В» и «С».

При коротком замыкании на защищаемой электроустановке, ток в ее токоведущей шине 3 возрастает и катушка индуктивности 2, установленная на безопасном по ПУЭ расстоянии от данной шины 3 реагирует на изменения значения магнитного поля  $\Phi$  (на рис. 1в показано стрелками), и в ней индуцируется повышенное значение напряжения. В силу того, что токовая защита срабатывает при значении снимаемого напряжения с выводов катушки индуктивности 2, равного 2 В. Усилитель напряжения 13 настроен на срабатывание только при этом значении напряжения, что—бы у себя на выходе получить требуемое значение выходного напряжения.

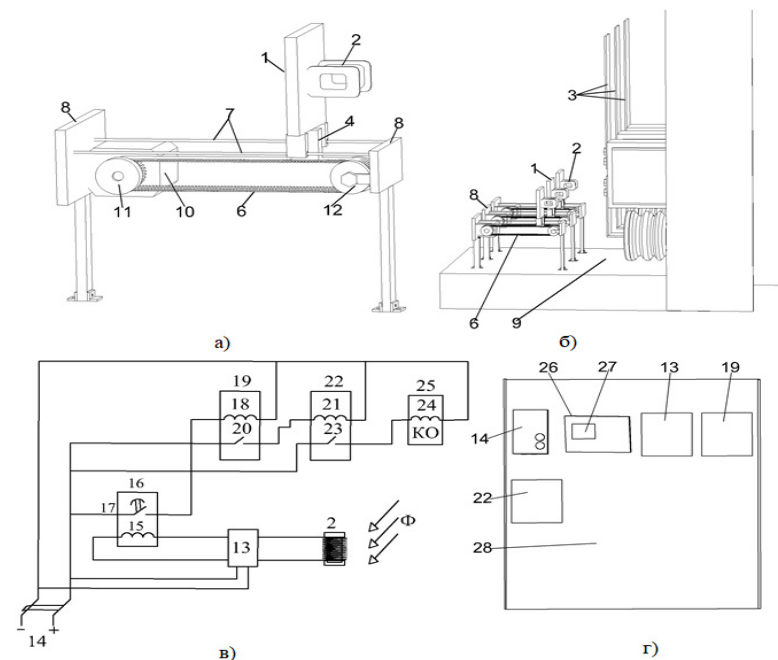


Рисунок 1—Конструкция токовой защиты: а) передвижной механизм; б) расположение передвижного механизма в кабельном отсеке ячейки; в) структурная схема токовой защиты; г) шкаф защиты ячейки КРУ

После данное значение напряжения (2В) повышается до значения, равного  $U=220$  В и поступает на вывод обмотки 15 реле времени 16. Данное реле 16 отсчитывает выдержку времени, равной 0,02 с.(рис. 1в) После этого срабатывает контакт с выдержкой времени на замыкание 18 данного реле

16 и с него потенциал «плюс» поступает на первый вывод обмотки 18 промежуточного реле 19.

Реле 19 сработав, подаёт потенциал «плюс» посредством своего контакта на замыкание 20 на обмотку 21 указательного реле 22. Указательное реле 22 срабатывает, замыкая свой контакт 23, а с него данный потенциал поступает на первый вывод катушки отключения 24 выключателя 25 (рис. 1в). В результате чего защищаемая электроустановка отключается от электрической сети.

В нормальном режиме работы защищаемой электроустановки значение напряжения, поступающего от катушки индуктивности 2 на вход усилителя напряжения 13 не превышает 2В. (рис. 1в) Усилитель напряжения 13 настроен на срабатывание только при этом значении напряжения, что-бы у себя на выходе получить требуемое значение выходного напряжения. В результате чего схема токовой защиты не срабатывает на отключение электроустановки.

#### Выводы

Токовая защита электроустановок с представленной для её реализации конструкцией позволяет осуществить выбор уставок с помощью дистанционного перемещения катушек индуктивностей относительно плоскости токоведущих шин, посредством микродвигателей. Нет необходимости в отключении ячейки КРУ для настройки токовой защиты. Отсутствие использования выносных и встроенных трансформаторов тока, а также токовых реле с ферромагнитными сердечниками, содержащих дорогостоящие медь, сталь и изоляцию, имеющих также значительные весогабаритные параметры отвечает актуальному вопросу релейной защиты - ресурсосбережению материалов, позволяя использовать представленную защиту для реализации токовой защиты электроустановок любого типа и класса напряжения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Дьяков, А. Ф.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по материалам 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4. – С. 7–16.

2 **Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т.** Опыт эксплуатации дифференциальной защиты силовых трансформаторов с использованием катушки Роговского // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматика энергосистем: сборник докладов международной научно-технической конференции – Москва : Научно-инженерное информационное агенство, 2009. – С. 49–59.

3 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст]: учебник для вузов – Изд. 4-е, перер. и доп. – Москва.: Высш. шк., 2006. – 639 с.

4 **Шнеерсон, Э. М.** Цифровая релейная защита. – Москва : Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

5 **Казанский, В. Е.** Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.

6 **Кобус, А., Тушинский, Я.** Датчики Холла и магниторезисторы / пер. с польск. В. И. Тихонова, К.Б. Макидонский; под ред. О. К. Хомерики. – Москва : «Энергия», 1971. – 352 с.

7 **Исабеков, Д. Д.** Multipurpose Power System Protection Set that Provides Constant Remote Serviceability Control. Сборник докладов конференции 2022 International Conference on Industrial Engineering, 2022г. С. 35–39.

8 **Исабеков, Д. Д.** Установка для исследования электромагнитного поля внутри комплектного распределительного устройства / Патент № 34420 Республики Казахстан на изобретение, опубл. 26.06.2020, бюл. № 25.

9 **Исабеков, Д. Д.** Устройство максимальной токовой защиты электроустановок на магнитоуправляемых элементах / Патент № 35387 Республики Казахстан на изобретение, опубл. 26.11.21, бюл. №47.

10 **Исабеков, Д. Д., Полищук, В. И., Постоянкова, К. Ю., Шувалова, А. А.** Устройство максимальной токовой защиты / Патент № 2759638 Российской Федерации, опубл. 16.11.2021, бюл. №32.

#### REFERENCES

1 **Dyakov, A. F.** Industria electrica potentia in mundi principio XXI century et (fundatur in 39-th sessionem ex materia CIGRE, Paris) // [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39 session of CIGRE, Paris)] [Text] «Foris Energy» Journal - 2004. - №4. – P. 7–16.

2 **Kozhovich, L. A., Bishop, M. T.** Usus In Transformers operating differentiale tutela potestate usus est Rogowski coil // Life of progressionem trends in Automation Nullam tutela ac potestate est systems systems: collectione ad internationalis tradit scientifica et technica conf. [Modern relay protection with current sensors based on the Rogowski coil // Modern trends in the development of relay protection and automation of power systems: collection of articles. report international scientific and technical conf.]. Moscow, : Engineering scientific and Information Agency. – 2009. – P. 49–59.

3 **Andreev, V. A.** Relay protection and automation of power supply systems: textbook for high schools, 4th edition, revised edition, Moscow : Higher school. 2006. – 639 p.

4 **Schneerson, E. M.** Digital relay protection. – Moscow : Energoatomizdat, 2007. – 549 p.

5 **Kazanskii, V. E.** Measuring current converters in relay protection. – Moscow : Energoatomizdat, 1988. – 240 p.

6 **Kobus, A., Tuszynski, J.** Hall sensors and magnetoresistors / translated from Polish. Tikhonov V. I., Makidonski K. B.; eds. by O. K. Khomeriki. – Moscow : Energia, 1971. – 352 p.

7 **Issabekov, D. D.** Multipurpose Power System Protection Set that Provides Constant Remote Serviceability Control. Collection of Papers of 2022 International Conference on Industrial Engineering, 2022. P. 35–39.

8 **Isabekov, D. D.** Installation for studying the electromagnetic field inside a complete switchgear / Patent № 34420 of the Republic of Kazakhstan for the invention, published 26.06.2020, bulletin № 25.

9 **Isabekov, D. D.** Device for overcurrent protection of electrical installations on magnetically controlled elements / Patent No. 35387 of the Republic of Kazakhstan for the invention, Publ. 26.11.21, bulletin №. 47.

10 **Isabekov, D. D., Polishchuk, V. I., Permanentkova, K. Y., Shuvalova, A. A.** Overcurrent protection device / Patent № 2759638 of the Russian Federation, publ. 16.11.2021, bulletin № 32.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*Д. Д. Исабеков<sup>1</sup>, А. Б. Бекбауов<sup>2</sup>, О. М. Талипов<sup>3</sup>, М. К. Бейсембаев<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университеті», Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
 Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## ЭЛЕКТРҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ТОК ҚОРҒАУ

Қазіргі заманғы электр энергетикасының шешілмеген мәселелерінің бірі – ірі энергетикалық жүйелер (CIGRE) бойынша халықаралық конференцияларда бірнеше рет айтылған ферромагниттік магнит өзектері бар дәстүрлі ток трансформаторларын (ТТ) қолданбай жоғары вольтты электр қондырғыларының релілік қорғанысын салу. Өйткені, бұл ток трансформаторлары металды көп қажет етеді, қымбат оқшаулаумен көлемді. Бұл мақалада автор оны таратушы құрылғының ұяшығында жүзеге асыру мысалын пайдалана отырып, индукциялық катушкада жасалған электр қондырғыларын ток қорғауды ұсынады. Индукциялық катушка басқа магниттік сезімтал элементтермен салыстырғанда релілік қорғаныс үшін бірқатар маңызды артықшылықтарға ие болуына байланысты

таңдалды. Бүгінгі күні мұндай элементтерде ток қорғанысын құру принциптері әзірленді. Дегенмен, бірқатар электр қондырғылары үшін бұл қорғаныстарды құру үшін индукциялық катушкалар пайдалану мүмкіндігіне қатысты мәселелер кең мағынада қарастырылмады. Ұсынылған мақалада кернеуі 6–10 кВ толық тарату құрылғыларымен (ТҚ) қоректенетін индукциялық катушкалар электр қондырғыларының ток қорғанысын дамыту мәселелерін шешуге әрекет жасалды.

Ұсынылған ток қорғанысы микроэлектрқозғалтқыш көмегімен индукциялық катушка ток тасымалдаушы шинааның жазықтығына қатысты қашықтан жылжыту арқылы параметрлерді таңдауға мүмкіндік береді, ал ферромагниттік өзектері бар металды көп қажет ететін және қымбат ток трансформаторларын қолданбау материалдық шығындарды азайтады. кез келген типтегі және кернеу класындағы электр қондырғылары үшін ғимараттың ток қорғанысы.

Кілтті сөздер: индукциялық катушка, пластина, ток өткізгіш, микроэлектрқозғалтқыш, кернеу күшейткіш.

\*D. D. Issabekov<sup>1</sup>, A. B. Bekbauov<sup>2</sup>, O. M. Talipov<sup>3</sup>, M. K. Beisembayev<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.12.22

## OVERCURRENT PROTECTION OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

One of the unsolved problems of modern power industry is considered to be the construction of relay protection of high-voltage power installations without the use of traditional current transformers (CTs) with ferromagnetic cores, which was repeatedly mentioned at international conferences on large power systems (CIGRE). The fact is that these current transformers are metal-intensive, bulky with expensive insulation. In this paper the author for the first time proposes current protection of electrical installations, made on inductance coils, on the example of its implementation in a switchgear panel. Inductance coils were chosen due to the fact that they have a number of important advantages for relay protection in comparison with other magnetosensitive elements. Nowadays, the principles of building current protections on such elements have been developed. However, for a number of electrical installations, the issues concerning the very possibility of using inductors for building these protections have not been widely considered. In this article an attempt is made to solve the issues in the development of current protections of electrical installations on inductance coils, fed from complete switchgear (switchgear) voltage 6-10



*kV. The presented current protection allows the selection of settings, by remotely moving the inductance coil relative to the plane of the current-carrying bus using a micromotor; and the lack of use of metal-intensive and expensive current transformers with ferromagnetic cores reduces the material costs of building current protections for electrical installations of any type and voltage class.*

*Keywords: inductance coil, plate, busbar, micromotor, voltage amplifier*

МРНТИ 44.01.81

[doi.org/10.48081/WBBT1581](https://doi.org/10.48081/WBBT1581)

**\*Ж. Б. Исабеков<sup>1</sup>, Б. Б. Исабекова<sup>1</sup>, А. Б. Жантлесова<sup>2</sup>, А. М. Акаев<sup>3</sup>, М. Е. Ордабаев<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Казахский государственный университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский технический университет

имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

*Увеличение стоимости энергии и действия экологов по защите природных ресурсов вынуждают снабжающие предприятия и организации экономить потребление электрической энергии. Многие компании и организаций также вынуждены использовать мероприятия энергоэффективности по экономии потребления энергии в периоды пикового спроса. Таким образом, сейчас в целях экономии уделяется особое внимание энергоэффективного производства и на уменьшение потери энергии, возникающие в сетях электроснабжения.*

*В статье представлена модель для количественной оценки технических потерь в распределительной сети. Модель прогнозирует технические потери участка распределительной сети и используется для расчета оценочной стоимости электроэнергии, потребляемой участком распределительной сети. Метод, используемый для расчета технических потерь электрической распределительной сети, позволяет получить оценочные значения потерь энергии для каждого сегмента распределительной сети. Эта модель включает в себя факторы и параметры, которые способствуют потерям электроэнергии на участке распределительной сети. Используя факторы и параметры, модель позволяет количественно оценить технические потери в распределительной сети. Это применяется для расчета нетехнических потерь на участке распределительной сети, что позволяет распределительным компаниям оценивать*

*потери электроэнергии и выявлять проблемные зоны в своих распределительных сетях.*

*Ключевые слова: системы электроснабжения, потери электроэнергии, электрическая энергия, нагрузка системы, электрические сети.*

### Введение

В настоящий момент основное внимание уделяется разработке предложений по снижению потребления электроэнергии в распределительных сетях с высоким спросом на электроэнергию и, следовательно, высоким потенциалом энергосбережения [1–3].

### Материалы и методы

Модель, которая будет использоваться для разработки стратегии минимизации потерь электроэнергии в распределительной сети, состоит из пяти этапов, представленных на рисунке 1.

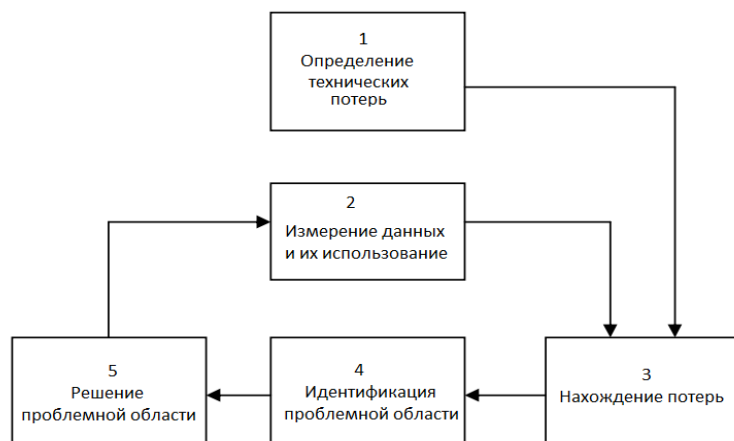


Рисунок 1 – Функциональная схема модели

Под функциональными составляющими понимается:

- 1 – метод расчета технических потерь участка распределительной сети.
- 2 – данные измерений, полученные от счетчиков, установленных на участке распределительной сети.
- 3 – определить общие потери и нетехнические потери сети.
- 4 – определите области с самыми высокими нетехническими потерями, также называемые проблемными областями.
- 5 – решение проблемных областей, указанные в 4.

Во–первых, неотъемлемой частью модели является расчет технических потерь в распределительной сети.

Это делается с использованием расчетов Microsoft Excel и любого языка программирования для расчета технических потерь каждого сегмента для всей распределительной сети. Во–вторых, технические потери в каждом сегменте сравниваются с измеренной исходящей электрической энергией сегмента распределительной сети. По этому соотношению технических потерь делаются выводы о правильности распределения электрической энергии в распределительной сети. Блок–схема разработки различных процессов, реализованных для разработки модели, показана на рисунке 2.

Модель использует электрические измеренные данные из различных сегментов распределительной сети в качестве входных данных для оценки потерь в электрической распределительной сети.



Рисунок 2 – Блок–схема расчета технических потерь, связанных с моделью определить потери электроэнергии

Процесс измерения охватывает вторичные токи и напряжения измерительных трансформаторов тока и напряжения, эти значения записываются и анализируются [4–5]. Результаты измерений обрабатываются в MS Excel. Можно использовать следующее измерительное оборудование: анализатор «FLUKE 437» (Рисунок 3, а,б). Все электрические данные, измеренные в различных сегментах распределительной сети за определенный период времени (т. е. ежедневно, еженедельно, ежемесячно, если ежедневно, то измерений 1440), экспортируются в текстовый файл с разделителями табуляцией. Это делается для стандартизации формата электрических

данных. Эти различные экспортированные текстовые файлы импортируются в электронную таблицу Microsoft Excel для расчета общей электроэнергии, используемой в различных сегментах распределительной сети, и потерь в сегментах распределительной сети.



а б

Рисунок 3 – Измерение с помощью анализатора «FLUKE 437»

Импортированные электрические данные должны быть указаны четырьмя параметрами, чтобы идентифицировать различные сегменты сети в распределительной сети. Параметрами являются имя счетчика, имя шины, с которой отправляется электроэнергия, имя шины, на которую отправляется электроэнергия, и тип сегмента сети, из которого отправляется электроэнергия. Нет необходимости определять параметр для типа сегмента сети, в который отправляется электроэнергия, поскольку в модели предполагается, что вся электроэнергия передается от одной энергетической шины к другой электрической энергетической шине. С этим предположением модель может определить, куда шина посылает электроэнергию.

Имена счетчиков электрической распределительной сети берутся за основу для импорта значений показаний счетчика в электронную таблицу. Эти зарегистрированные значения показаний счетчика могут быть в любом временном интервале, если различные зарегистрированные значения показаний счетчика относятся к одной и той же заданной продолжительности времени (например, месяцу). Модель будет использовать эти измерения электроэнергии и добавлять измеренные значения каждого счетчика за определенный интервал времени (месяц) для оценки сегментов

распределительной сети. Пример импортированных электрических данных показан в таблице 1.

Таблица 1 – Импорт данных об электроэнергии (25 ноября 2019г.)

Время	THD напряжения AB Max	THD напряжения BC Max	THD напряжения CA Max	THD тока A Max	T H D тока B	THD тока C Max
01:00	0,71	0,81	0,75	20,67	15,87	15,58
02:00	0,74	0,86	0,73	17,62	25,02	14,34
03:00	0,76	0,85	0,77	28,37	14,88	16,03
04:00	0,77	0,86	0,76	21,09	13,39	16,33
05:00	0,71	0,81	0,71	21,47	16,59	17,83
06:00	0,74	0,8	0,7	20,23	15,22	16,08
07:00	0,72	0,79	0,66	18,29	14,95	15,73
08:00	0,71	0,78	0,69	18,55	13,1	17,7
09:00	0,7	0,78	0,68	18,39	17,25	14,12
10:00	0,7	0,79	0,69	17,16	13,4	17,5
11:00	0,69	0,77	0,68	21,97	15,39	15,29
12:00	0,71	0,75	0,7	20,92	17,7	14,68

Total Harmonic Distorsions (THD) – величина для количественной оценки нелинейных искажений периодического сигнала и это суммарный коэффициент искажений по току или напряжению, которую можно найти по формулам:

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}, \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

Расчет технических потерь электрической распределительной сети подразделяется на восемь различных областей, в которых могут возникнуть проблемы, а именно:

- счетчики электроэнергии,
- подключения клиентов к сети,
- сети низкого напряжения,
- распределительные трансформаторы,
- сети среднего напряжения,
- распределительные подстанции,
- подсистемы передачи и
- другие технические потери.

Идентификация этих различных проблемных областей теоретически обсуждалась в литературном исследовании и показала, что практически невозможно определить все различные параметры распределительной сети. В этой модели использовался подход, отличный от теоретического расчета, чтобы иметь возможность использовать минимум параметров, но при этом иметь возможность идентифицировать проблемные области в электрической распределительной сети. В модели используется процентная оценка параметров потерь, определенных для различных сегментов распределительной сети. Этот подход, хотя и не такой точный, как теоретический расчет, дает представление о потерях электроэнергии в сегменте сети и используется для определения общих технических потерь в электрической распределительной сети [6–7].

Процентные расчеты в модели определяют минимальный и максимальный процентный параметр для различных сегментов сети в распределительной сети. Эти параметры используются для расчета потерь каждого сегмента распределительной электрической сети в процентах от подводимой электрической энергии к сегменту сети. В модели устранены небольшие погрешности измерения показаний счетчиков, так как рассчитывается характерное значение потерь электроэнергии на каждом участке. Это типичное значение потерь энергии представляет собой среднее значение минимальных и максимальных потерь электроэнергии в каждом сегменте электрической распределительной сети.

Существует восемь различных проблемных областей сети, в которых могут возникнуть потери электроэнергии в распределительной сети, и модель предполагает, что электрическая энергия течет от шины по кабелю к другой шине в распределительной сети. Шина — это точка в электрической распределительной сети, где одно или несколько электрических соединений соединены вместе. Эти предположения позволяют сделать вывод о том, что электрические потери в распределительной сети можно разделить на две основные группы. Это потери в кабелях и потери в шинах распределительной сети [8–9]. Потери в кабелях распределительной сети составляют:

- потери при передаче,
- потери в сети среднего напряжения,
- потери в сетях низкого напряжения,
- потери связи с клиентами,
- потери счетчика электроэнергии, и другие.

Потери, происходящие на шине распределительной сети:

- потери распределительной подстанции,
- потери распределительного трансформатора,
- связь с клиентом,

– потери других компонентов.

Обратите внимание, что потери при подключении клиентов и потери других компонентов могут произойти как в кабелях, так и в шине распределительной сети.

С четырьмя входными параметрами, полученными в результате импорта измерений измерителя в виде текстовых файлов. Был использован алгоритм для определения различных шин распределительной сети. Алгоритм используется как для шины, от которой течет электрическая энергия, так и для шины, к которой течет электрическая энергия. Псевдокод алгоритма задается как:

```

valueadd = false
i = 0
Busname(i) is the names of the bus defined
Busvalue(i) is the electrical energy value of the bus defined
For x = 0 To Number of meters
    testname = Get the test bus name
    testvalue = Get the value of the electrical energy
    For j = 0 To i
        If testname = BusNames(j) Then
            BusValue(j) = BusValue(j) + testvalue
            valueadd = True
        End If
    Next j
    If valueadd = False Then
        i = i + 1
        BusNames(i) = testvalue ;Add a new busname
        BusValue(i, 1) = test ;Add a new busvalue
    Else
        valueadd = False ;Reset the valueadd value
    End If
Next x

```

С помощью этого алгоритма определяются разные шины от сегмента сети и к сегменту сети, а также определяется различие каждого сегмента сети. Это используется для оценки технических потерь каждого сегмента сети и для расчета общих технических потерь распределительной сети.

Алгоритм определения потерь в распределительной электрической сети использует следующие шаги для определения потерь:

- расчет потерь различных сегментов сети в сети,
- расчет прочих потерь в сети,
- расчет счетчиков электроэнергии в распределительной сети,
- расчет потерь абонентского соединения на сегменте сети, и
- расчет потерь трансформатора/шины распределительной сети.

Принципиальная схема определения потерь показана на рисунке 4.

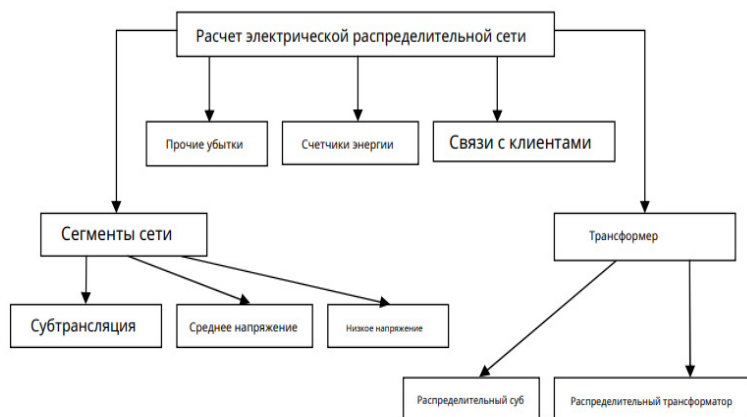


Рисунок 4 – Этапы определения потерь в сегментах сети при распределении электроэнергии

Как показано на рисунке 4, расчет различных сегментов сети делится на:

- потери при передаче,
- потери в сети среднего напряжения и
- потери в сетях низкого напряжения.

Эти различные потери в сети идентифицируются по входному параметру «тип сегмента сети от», а соответствующие потери в сегменте сети рассчитываются в процентах от входной электрической энергии для конкретного сегмента сети.

Прочие технические потери рассчитываются, если в типе сегмента сети указаны другие потери. Эта разница может быть связана либо с

конденсаторными батареями, установленными в сегменте сети, либо с регуляторами напряжения с системами обратной связи, реализованными в сети. Параметр «другие технические потери» позволяет пользователю определить любые незнакомые или неизвестные схемы проектирования сети.

Расчет потерь, происходящих в счетчиках электроэнергии, производится в предположении, что все потери энергии счетчиками электроэнергии составляют примерно один и тот же процент от электроэнергии, используемой сегментом сети. Это допущение можно использовать, поскольку потери счетчика электроэнергии в распределительной электрической сети малы по сравнению со всеми другими потерями, влияющими на распределительную электрическую сеть. Моделирование потерь счетчиков энергии определяет имя счетчика для каждого счетчика, измеряющего в распределительной сети, а расчет потерь счетчика энергии использует сумму конкретных определенных измерений счетчика из сети для расчета процентных потерь счетчика энергии для каждого счетчика

#### Расчет подключения клиентов

Есть три возможности определить, подключен ли сегмент сети к клиенту. Во-первых, если входной параметр для типа сегмента сети опущен, модель предполагает, что сегмент сети подключен к потребителю, и расчет потерь связан с процентом параметра «подключения потребителей» электроэнергии в сегменте. Во-вторых, если параметр, определяющий сегмент сети, опущен, модель предполагает, что сегмент сети подключен к потребителю, и рассчитывает потери в процентах от входной энергии сегмента сети. В-третьих, если шина, определенная моделью, опущена, модель предполагает подключение клиента, а потери в сегменте сети рассчитываются в процентах от входной энергии в шину.

#### Расчет потерь трансформатора/шины

Потери, возникающие на шине распределительной сети, могут быть следующими: [10]

- потери распределительного трансформатора,
- потери трансформатора распределительной подстанции, или
- потери связи с клиентами.

Различные потери на шине определяются с помощью «входного» параметра шины, на которую подается электрическая энергия. Если эти параметры электрической энергии для «шины к» и «шины от» различаются, происходит электрическое преобразование в электрическую энергию на сетевой шине. Однако, если «имя шины до» и «имя шины от» остаются прежними, преобразование на сетевой шине не происходит, и модель предполагает, что потери на шине распределительной сети такие же, как и предположение, используемое для потребителя. потеря связи в сети.

Есть две разные возможности, если параметры сети различаются. Во-первых, энергия может течь из систем передающей сети в сеть среднего напряжения распределительной сети, и эти потери представляют собой потери распределительной подстанции и рассчитываются как процент от потребляемой электроэнергии на шине. Второй вариант — это сеть среднего напряжения, которая распределяет энергию в сети низкого напряжения сети в распределительной сети. Эти потери при преобразовании сети известны как параметр «потери распределительного трансформатора» [10] и рассчитываются в процентах от входной энергии сети на шину.

Результаты и обсуждение. В настоящее время, где большое внимания уделяется энергоэффективности, становится необходимым не только распределять электрическую энергию, но и уделять внимание проверке методов управления электрической энергией. Эта проверка должна помочь уменьшить потери электроэнергии, и принципом, лежащим в основе снижения этих потерь.

#### Информацию о финансировании

Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №. AP09058186)

#### Выводы

В статье построена модель для прогнозирования технических потерь электроэнергии в распределительной сети. Эта модель включает в себя факторы и параметры, которые способствуют потерям электроэнергии на участке распределительной сети. Используя факторы и параметры, модель позволяет количественно оценить технические потери в распределительной сети. Это используется для расчета технических потерь на участке распределительной сети, что позволяет распределительным компаниям оценивать потери электроэнергии и выявлять проблемные зоны в распределительных сетях.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Davidson, E and Odubiyi, A.** Technical loss computation and economic dispatch model for T&D systems in deregulated ESI, *Power Engineering Journal*. – 2002. – P. 55.
- 2 **Douglas, G, Montgomery, GC and Runger, NH.** *Engineering Statistics*, John Wiley and Sons, Arizona State University. – 2000. – P. 140–151.
- 3 **Semenov, A.S.** Lower the economic losses in electric networks // *International Journal of Experimental Education*. – 2013. – № 12. – С. 57–59. URL: <http://expeducation.ru/ru/article/view?id=4291> (дата обращения: 17.08.2022).

4 **Buzdugan, M., and H. Balan.** «About power quality monitoring in residential grids.» *Renewable Energy and Power Quality Journal* 1.15 – 2017. – P. 569–574.

5 **Hossain, E., Tür, M. R., Padmanaban, S., Ay, S., and Khan, I.** Analysis and mitigation of power quality issues in distributed generation systems using custom power devices. *Ieee Access*, – 2018. – No. 6, p. 16816–16833.

6 **Manikandan, M. S., Samantaray, S. R., and Kamwa, I.** Detection and classification of power quality disturbances using sparse signal decomposition on hybrid dictionaries. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, – 2014. – No. 64(1), P. 27–38.

7 **Suslov, K. V., Stepanov, V. S., Solonina, N.N.** Smart grid: Effect of high harmonics on electricity consumers in distribution networks. *International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*, Brugge, Belgium, IEEE. – 2013. <http://toc.proceedings.com/19894webtoc.pdf>. (дата обращения: 17.08.2022).

8 **Akimzhanov, T.B., Kharlov, N.N., Borovikov, V.S.** Development of calculation methods for additional electrical power losses during transportation, *The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST)*, October 21–23, 2014, Cox's Bazar, Bangladesh. Publisher: IEEE. – 2014. – P. 351 – 354.

9 **De la Rosa, J. J. G., Agüera-Pérez, A., Palomares-Salas, J. C., Sierra-Fernández, J. M., and Moreno-Muñoz, A.** A novel virtual instrument for power quality surveillance based in higher-order statistics and case-based reasoning. *Measurement*, – 2012. – No. 45(7), P. 1824–1835.

10 **Tamvada, Karthik, Umashankar, S and Sanjeevikumar, P.** «Impact of power quality disturbances on grid-connected double fed induction generator.» *Advances in Smart Grid and Renewable Energy*. Springer, Singapore, – 2018. – P. 339–345.

#### REFERENCES

- 1 **Davidson, E and Odubiyi, A.** Technical loss computing and economic dispatch model for T&D systems in deregulated ESI, *Power Engineering Journal*. – 2002. – P. 55.
- 2 **Douglas, G, Montgomery, G. C and Runger, N. H.** *Engineering Statistics*, John Wiley and Sons, Arizona State University. – 2000. – P. 140–151.
- 3 **Semenov, A.S.** Lower the economic losses in electric networks // *Mezhdunarodny`j zhurnal e`ksperimental`nogo obrazovaniya*. – 2013. – No. 12. – P. 57–59. URL: <http://expeducation.ru/ru/article/view?id=4291> (accessed: 08/17/2022).

4 **Buzdugan, M. and H. Balan.** «About power quality monitoring in residential grids.» *Renewable Energy and Power Quality Journal* 1.15 – 2017. – P. 569–574.

5 **Hossain, E., Tür, M. R., Padmanaban, S., Ay, S., and Khan, I.** Analysis and mitigation of power quality issues in distributed generation systems using custom power devices. *Ieee Access*, – 2018. – No. 6, P. 16816–16833.

6 **Manikandan, M. S., Samantaray, S. R., and Kamwa, I.** Detection and classification of power quality disturbances using sparse signal decomposition on hybrid dictionaries. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, – 2014. – No. 64 (1), P. 27–38.

7 **Suslov, K. V., Stepanov, V. S., Solonina, N.N.** Smart grid: Effect of high harmonics on electricity consumers in distribution networks. *International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*, Brugge, Belgium, IEEE. – 2013. <http://toc.proceedings.com/19894webtoc.pdf>. (accessed: 08/17/2022).

8 **Akimzhanov, T. B., Kharlov, N. N., Borovikov, V. S.** Development of calculation methods for additional electrical power losses during transportation, *The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST)*, October 21–23, 2014, Cox’s Bazar, Bangladesh. Publisher: IEEE. – 2014. – P. 351 – 354.

9 **De la Rosa, J. J. G., Agüera-Pérez, A., Palomares-Salas, J. C., Sierra-Fernández, J. M., and Moreno-Muñoz, A.** A novel virtual instrument for power quality surveillance based in higher-order statistics and case-based reasoning. *Measurement*, – 2012. – No. 45(7), p. 1824–1835.

10 **Tamvada, Karthik, Umashankar, S and Sanjeevikumar, P.** «Impact of power quality disturbances on grid-connected double fed induction generator. *Advances in Smart Grid and Renewable Energy*. Springer, Singapore, – 2018. – P. 339–345.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*Ж. Б. Исабеков<sup>1</sup>, Б. Б. Исабекова<sup>1</sup>, А. Б. Жантілесова<sup>2</sup>,  
А. М. Акаев<sup>3</sup>, М. Е. Ордабаев<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>3</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан Техникалық Университеті,  
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## ТАРАТУШЫ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ КОММЕРЦИЯЛЫҚ ШЫҒЫНДАРЫ

*Осы мақалада келтірілген тәсіл энергия желілеріндегі коммерциялық шығындардың қалай қалыптасатынын көрсетеді және шығындарды электр желісінің әртүрлі бөлімдерінің пайыздық үлесімен байланыстырады. Бұл тәсіл проблемаларды анықтай алады және егер ол электр тарату желісінде болса. Электр энергиясын таратумен айналысатын энергия компанияларының қызметтерін ұсынатын проблемалық аймақтарды анықтау арқылы электр энергиясының тарифіне бағаны төмендету арқылы электр энергиясын тұтынушылардың кірістерін үнемдеуге болады.*

*Электр энергиясын пайдаланудың тиімсіздігі негізінен электр тарату желісінің төмен вольтты учаскелеріндегі шығындармен байланысты және техникалық және коммерциялық шығындарға бөлінеді. Техникалық шығындар электр желісіндегі жалпы шығындарды есептеу және бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін. Техникалық шығындарды есептеуді қолдана отырып, коммерциялық шығындарды анықтауға болады. Техникалық емес шығындарды тудыратын мәселелерді анықтау Электр тарату желісінде электр энергиясын пайдалану тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: электрмен жабдықтау жүйелері, электр энергиясының шығындары, электр энергиясы, жүйенің жүктемесі, электр желілері.*

\*J. B. Issabekov<sup>1</sup>, B. B. Issabekova<sup>1</sup>, A. B. Zhantlessova<sup>2</sup>, A. M. Akaev<sup>3</sup>,  
M. E. Ordabayev<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>3</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,  
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

Material received on 15.12.22

## COMMERCIAL LOSSES OF ELECTRIC ENERGY IN DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS

*The approach presented in this article shows how commercial losses are formed in power grids and relates losses to the percentage of different sections of the electric grid. This approach can identify problems, and if it exists in the electrical distribution network. By identifying the problem areas of energy companies providing electricity distribution services, it*

*is possible to save the incomes of electricity consumers by reducing the pricing of electricity tariffs.*

*Inefficiency in the use of electrical energy is mainly associated with losses in low-voltage sections of the distribution network and is divided into technical and commercial losses. Technical losses can be calculated and used to estimate the total losses in the electrical network. Using the calculation of technical losses, it is possible to identify commercial losses. The identification of problems causing non-technical losses creates opportunities for improving the efficiency of electricity use in the electric distribution network.*

*Keywords: power supply systems, electricity losses, electrical energy, system load, electrical networks.*

МРНТИ 44.39

[doi.org/10.48081/XJFT7363](https://doi.org/10.48081/XJFT7363)

**\*А. Б. Кайдар<sup>1</sup>, С. С. Исенов<sup>1</sup>, Р. М. Искаков<sup>1</sup>,  
Б. К. Шапкенов<sup>2</sup>, С. К. Шерьязов<sup>3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>Южно-Уральский государственный Аграрный университет, Российская Федерация, г. Челябинск

## **КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

*В статье выполнен анализ ветроэнергетических установок. Рассмотрены ветроэнергетические установки с горизонтальной и вертикальной осью вращения, а также ветроустановки, использующие энергию рабочего органа, качающегося под воздействием ветрового потока.*

*В статье рассмотрены 10 типов ветрогенераторов, описаны конструкции, приведены технические характеристики, такие как коэффициент использования энергии ветра и быстроходность, проанализированы свойства ветрогенераторов, особенности, достоинства и недостатки. Приведены принципы работы, область применения. Отмечено, что ветрогенераторы с горизонтальным ротором обладают большей эффективностью по сравнению с ветрогенераторами с вертикальной осью вращения и качающимися ветрогенераторами ввиду более высоким коэффициентом использования энергии ветра и быстроходностью.*

*Приведена классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком, которая отличается от других известных тем, что введен класс качающихся ветрогенераторов и подкласс генераторов с горизонтальной осью вращения с двумя встречно вращающимися колесами ветрогенератора, которые прикреплены к статору и ротору электрогенератора, обеспечивая суммирование угловых скоростей ротора и статора. Достоинством и новизной ветрогенератора со встречным вращением ветроколес является возможность удвоения скорости вращения ротора*



относительно статора. Новизна ветроустановки подтверждается патентом авторов на изобретение. Удвоение скоростей позволяет повысить эффективность генерации. Увеличивается мощность генерации за счет увеличения активных плоскостей, приводящих во вращение элементы генератора (ротора и статора) двумя ветроколесами. Коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) двух ветроколес для всей ветроустановки суммируется, а быстроходность увеличивается вдвое за счет противовращения.

Ключевые слова: Ветрогенераторы, ветроколеса, ветротурбины, быстроходность, эффективность, лопасть, ось вращения, качающиеся генераторы

### Введение

Применение энергии ветра в настоящее время становится актуальным и для Казахстана. Потребление электроэнергии из года в год растет, а основные энергетические мощности на угольных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) и государственных районных электростанциях (ГРЭС) приближаются к завершению срока эксплуатации. Несмотря на то, что страна до сих пор не испытывает дефицита электроэнергии, необходимо продолжать развивать электроэнергетику, в том числе и ветроэнергетику, которая по сравнению с солнечной имеет существенно больший потенциал генерации. Особенно эффективно применение ветрогенераторов малой мощности для электроснабжения отдаленных районов с децентрализованным энергоснабжением.

Востребованность малых ветроустановок создает предпосылки в исследовании и разработке энергоэффективных систем генерации электроэнергии.

Современные ветроэнергетические установки обычно представляют собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, которые преобразуют энергию ветра в механическую энергию вращающегося ветроколеса, с последующим преобразованием в электрическую энергию или какую-либо другую механическую энергию.

Большое многообразие ветрогенераторов обуславливает необходимость их классификации. Принципиально по способу взаимодействия с ветровым потоком их можно разделить на вращающиеся и качающиеся (рисунок 1). Вращающиеся ветрогенераторы имеют ось вращения и лопасти, а качающиеся площади взаимодействия (лопасти) с ветровым потоком и механизм преобразования энергии возвратно поступательного движения в электрическую.

По расположению оси вращения ветрогенераторы подразделяют на вертикальные и горизонтальные. На рисунке 1 приведена классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком.

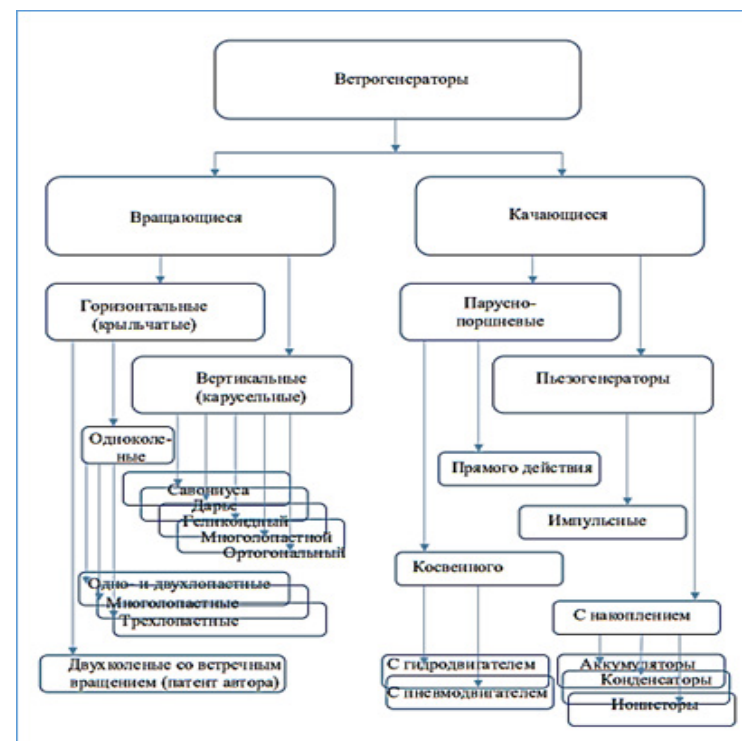


Рисунок 1 – Классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком

Предложенная классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с воздушным потоком (рисунок 1) облегчает проектировщикам и пользователям выбрать ветрогенератор с заданными свойствами для конкретных условий применения.

У вертикальных (карусельных или ортогональных) ветрогенераторов ось вращения ветроколес (турбин) расположена вертикально по отношению к земле. У горизонтальных ось вращения располагается параллельно земле.

Обычно из-за большей парусности момент трогания у ветрогенераторов вертикального типа ниже и соответствует скорости ветра 2–3 м/с [1]. У горизонтальных ветрогенераторов момент трогания несколько выше и

вращение начинается при скорости ветра 2,5–3 м/с [2]. Горизонтальные генераторы имеют большую (на 30 %) мощность преобразования энергии ветра [3].

Вертикальные генераторы ввиду их низкой производительности для промышленной генерации не используются. В большинстве случаев вертикальные генераторы используют ввиду их простоты для бытовых нужд мелких потребителей. Они просты в обслуживании, так как генератор находится в нижней части ветроустановки.

### 1. Генераторы Савониуса

Генераторы с ротором Савониуса состоят из двух или нескольких полуцилиндров, или полусфер (рисунок 2).



Рисунок 2 – Генераторы Савониуса

Рисунок 3 – Генератор Дарье двухлопастной

Изменение порывов ветра мало сказывается на скорости ветра, так как конструкция достаточно инерционна. При работе генератор использует не всю мощь ветрового потока, а только 30 %. Устройство лопастей в виде двух полуцилиндров позволяет работать лишь на четверть оборота. Остальное время лопасти находятся в области затенения ветрового потока или расположены выпуклой частью лопасти встречно потоку ветра. Вогнутая (активная) часть лопасти крутит ветроколесо, выгнутая – тормозит ветроколесо. Ввиду того, что выгнутая часть обтекается воздухом, воздействие ветрового потока на активную часть всегда выше. За счет этой разницы происходит кручение ветроколеса.

В настоящее время генераторы такого типа не используются из-за низкого от 4 до 13 % коэффициента эффективности использования ветра

Ср и малой быстроходности  $Z = 0,4–1,5$ , из-за невысокой эффективности, материалоемкости и тихоходности [4, 5].

### 2. Генераторы Дарье

Генераторы Дарье имеют 2–3 лопасти в виде тонкой полосы (рисунок 3), чаще всего изогнутой. Генератор легко монтируется, прост в эксплуатации, за счет легкости ветроколеса – малоинерционен.

При увеличении количества лопастей увеличивается величина шума. Ветроустановки с ротором Дарье достаточно скоростные, имеют довольно высокую эффективность использования ветра, но нуждаются в принудительном старте. Быстроходность находится в пределах  $Z = 5–7$ , КИЭВ Ср = 25–35 %. Недостатком, кроме принудительного старта, является низкая мощность, обусловленная малой парусностью, а также тем, что участки лопастей, находящиеся вблизи оси вращения малоэффективны ввиду малой величины плеча воздействия. Ввиду малой жесткости конструкции наблюдается сильная вибрация и, следовательно, высокое значение шума. Применяются в небольших количествах в промышленности (при больших размерах) и для бытовых нужд – при небольших габаритах.

### 3. Геликоидный генератор

Ветрогенератор с геликоидным ротором (рисунок 4) является разновидностью ротора Дарье, обеспечивает равномерное вращение. В принципе по конструкции является ортогональным ветрогенератором с вертикальной осью вращения.

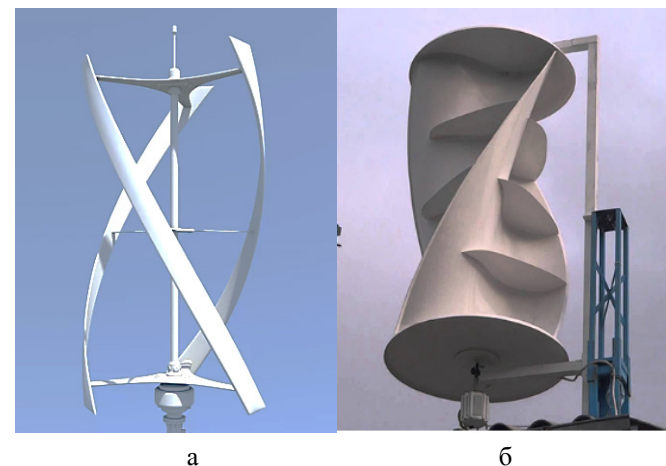


Рисунок 4 Геликоидный (спиральный) генератор традиционной конструкции (а) и усиленный ребрами жесткости (б)

Отличием является то, что лопасти ветрогенератора скручены относительно оси вращения в спиралевидную форму, что обеспечивает равномерную загрузку (без биений) электрогенератора и всех конструктивных элементов, в том числе подшипников. Отсутствие биений способствует снижению шума при вращении ветрогенератора и повышает срок эксплуатации.

Технические характеристики имеет практически такие же, как и генератор Дарье: быстроходность  $Z = 5-7$ , КИЭВ  $C_p = 25-35\%$ . Сложен при монтаже и в изготовлении, что обуславливает высокую цену.

#### 5. Ветроустановки с вертикальной осью вращения и прямыми лопастями



Рисунок 5 Ветрогенератор с вертикальным (ортогональным) ротором и прямыми лопастями

Ветроустановки с ортогональной (перпендикулярной земле) осью вращения ротора с прямыми лопастями состоят из вертикальной оси и лопастей (рисунок 5). За счет большого плеча воздействия генерация энергии начинается для небольших конструкций при скорости ветра  $0,7$  м/с, но уже для мощностей  $2$  кВт стартовая скорость –  $2$  м/с. Номинальной мощности достигает при скоростях ветра  $11$  м/с [6]. Достоинства ортогональных ветрогенераторов с прямыми лопастями заключаются в том, что у них, как и у всех генераторов с вертикальной осью вращения нет необходимости улавливать направление ветрового потока. Использование генератора возможно при слабом ветре, но генерация при слабом ветре незначительна. В отличие от генераторов с горизонтальной осью вращения имеется возможность устанавливать на короткой мачте, что упрощает обслуживание. За счет низкой угловой скорости вращения в снижен шум и может находиться в пределах  $30$  дБ в зависимости от исполнения. Быстроходность и КИЭВ ниже чем у генераторов Дарье ( $Z = 5-7$ , КИЭВ  $C_p = 25-35\%$ ), но выше чем у генераторов Савониуса ( $C_p = 13\%$ ,  $Z = 0,4-1,5$ ) [1, 2].

Ввиду низкой парусности для получения малой или средней мощности необходимо увеличивать размеры лопастей, что делает генератор громоздким, увеличивает территорию отчуждения или требует установки высокой мачты, а также усложняет монтаж.

6. Многолопастной ветрогенератор с внутренней вращающейся турбиной (рисунок 6, а, изображено красным цветом) и с внешними, расположенными по окружности, неподвижными направляющими (выделено синим цветом).

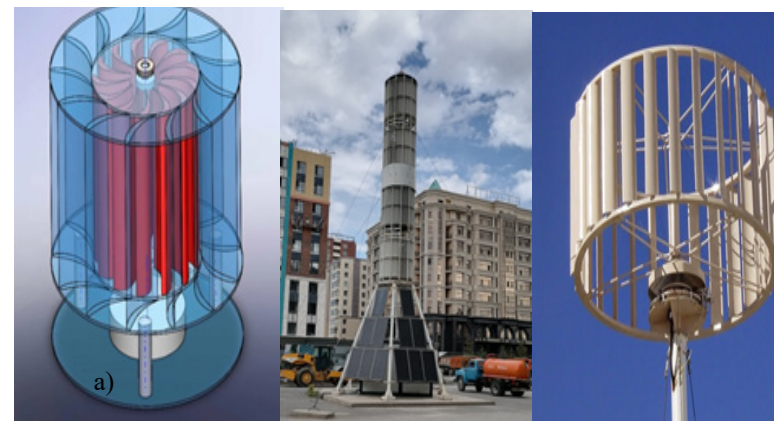


Рисунок 6 Многолопастной ветрогенератор:  
а – чертеж многолопастного ветрогенератора направляющими ветрового потока;

б – фотография ветросолнечной установки  $10$  кВт (г. Астана, район дворца школьников) с многолопастным ветрогенератором  $5$  кВт;

в – многолопастной ветрогенератор без направляющих ветрового потока

На рисунке 6, б приведена фотография ветросолнечной установки  $10$  кВт (г. Астана, район дворца школьников) с многолопастным ветрогенератором  $5$  кВт, установленной NACKAZATOMPRO–MJSC‘SLLP «ECOENERGOMASH». При обдуве потоком воздуха по горизонтали с любой стороны направляющие ориентируют поток воздуха на активную часть лопастей, что вызывает вращение ротора ветроустановки. Ветроустановка имеет высокую чувствительность к ветру, сниженный момент трогания, развивает сравнительно большую мощность ввиду максимального использования энергии ветра. На рисунке 6, в – многолопастной ветрогенератор без направляющих ветрового потока. Технические характеристики для генераторов без направляющих ветрового потока составляют быстроходность  $Z = 0,4-1,5$ , а КИЭВ  $C_p = 10-28\%$ . Для генератора, приведенного на рисунке

6, а, с направляющими ветра эффективность несколько выше:  $Z = 0,44-1,7$  и  $C_p = 11-30\%$  [1, 2].

### 7 Горизонтальные ветрогенераторы

Доминирующим преимуществом однолопастного ветрогенератора с горизонтальной осью вращения является высокая скорость вращения (рисунок 7).

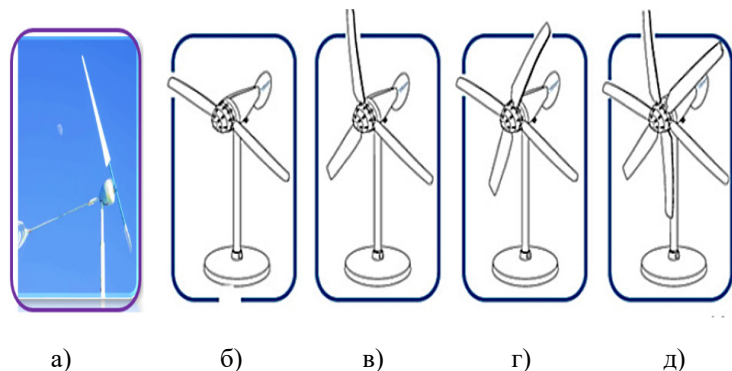


Рисунок 7 – Ветрогенераторы с горизонтальным ротором: а – однолопастной с противовесом, б – двухлопастной, в – трехлопастной, г – четырехлопастной, д – шестилопастной

Для устранения биения на однолопастных ветрогенераторах установлен груз–противовес. Противовес, не имея парусности, практически не оказывает сопротивления воздуху при вращении, что дает использовать их для стандартных высоко оборотистых генераторов, включая асинхронные и синхронные. Применение стандартных с 1–3 полюсами асинхронных или синхронных генераторов позволяет уменьшить массогабаритные показатели. Применение специализированных тихоходных генераторов с большим числом пар полюсов увеличивает массогабаритные показатели и стоимость ветрогенератора. На рисунке 7, б–д показаны двух, трех, 4–х и 6–ти лопастные генераторы с горизонтальной осью вращения.

Обороты ветрогенератора с горизонтальным ротором при одинаковой скорости ветра будут разные и зависят от количества лопастей и их длины. С увеличением числа лопастей и их длины быстроходность  $Z$  падает.

При прохождении воздуха через лопасти возникают турбулентные завихрения, тормозящие вращение ветроколеса. Поэтому с увеличением количества лопастей снижается быстроходность [1]: причем, для 1–лопастного ветроколеса быстроходность  $Z = 9,0$ ;  $C_p = 50\%$ ; для 2–х –  $Z =$

7,0;  $C_p = 35-45\%$ ; 3–х –  $Z = 5,0$ ;  $C_p = 33-38\%$ ; 6–ти –  $Z = 3,0$ ;  $C_p = 15-20\%$ ; 12–лопастный генератор имеет быстроходность  $Z = 1,2$ , а  $C_p = 23-28\%$ ;

Основным критерием выбора ветроустановки является коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ)  $C_p$ . На рисунке 8 приведен коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ)  $C_p$  в зависимости от быстроходности ветрогенераторов  $Z$  [1, 2].



Рисунок 8 – Функциональные зависимости коэффициента использования энергии ветра  $C_p$  от быстроходности  $Z$

На рисунке 8 обозначены следующие критерии и зависимости [1, 2]: 1 критерий Бетца–Жуковского ( $C_p = 59,3\%$ ); 2 критерий Глауэрта (идеальное ветроколесо); 3 трехлопастной ветряк с горизонтальной осью; 4 двухлопастное ветроколесо с горизонтальной осью вращения (высокооборотное); 5 вертикальноосевые установки типа ротора Дарье, геликоидные, с прямыми лопастями; 6 многолопастное ветроколесо с горизонтальной осью; 7 ротор Савониуса (с вертикальной осью вращения).

Исходя из рисунка 8 видно, что наиболее оптимальным решением при выборе ветроколес для промышленной генерации являются 2–х (кривая 4) и 3–х (кривая 3) лопастные ветроколеса с горизонтальной осью вращения, у которых коэффициент использования энергии ветра выше, чем у остальных ветрогенераторов, и составляет 38–48 %.

8. Двухколесные ветрогенераторы со встречным вращением ветроколес

Ветрогенератор содержит два встречно вращающихся ветроколеса, одно из которых крепится к ротору, а второе – к статору генератора [7]. На валу располагают токосъемные кольца. Внешний вал крепится к телу гондолы

через подшипниковые опоры. Тело гондолы выполняется поворотным, ориентирующимся по ветру с помощью хвостового оперения, лопасти имеют форму воздушного винта.

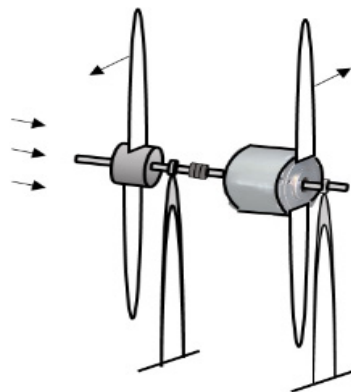


Рисунок 9 – Двухколесные ветрогенераторы со встречным вращением ветроколес

Достоинством и новизной ветрогенератора является возможность удвоения скорости вращения ротора относительно статора. Удвоение скоростей позволяет повысить эффективность генерации. Увеличивается мощность генерации за счет увеличения активных плоскостей, приводящих во вращение элементы генератора (ротора и статора) двумя ветроколесами. КИЭВ двух ветроколес для всей ветроустановки суммируется, а быстроходность увеличивается вдвое за счет противовращения. Так, если для традиционного одноколесного двухлопастного ветрогенератора с горизонтальным вращением  $C_p = 38-45\%$  и  $Z = 3,5-8$ , то для генератора со встречным вращением эти же параметры будут соответствовать  $C_p = 76-90\%$  (для двух ветроколес) и  $Z = 7-16$ . При этом удваивается площадь лопастей за счет использования второго ветроколеса, что приведет к возрастанию мощности генерации. Влияние турбулентности на второе ветроколесо незначительно до  $10\%$ , если расстояние между ветроколесами соответствует одному диаметру ветроколеса, при увеличении расстояния между ветроколесами до  $2-3$  диаметров ветроколес, снижение оборотов второго ветроколеса не наблюдается, что свидетельствует о восстановлении ламинарности ветрового потока.

#### 9 Качающиеся ветрогенераторы парусно–поршневые

Качающиеся ветрогенераторы имеют площади взаимодействия, установленные на мачте, и механизм преобразования механической энергии в электрическую (рисунок 9).

Площади взаимодействия могут иметь также различную форму. Так, лопасть или лопасти могут иметь форму в традиционном исполнении, форму квадрата, круга, сектора или какой-либо другой вид.

Качающиеся парусно–поршневые [8] (РФ), [8, 9] (Тунис), где имеют один или несколько качающихся парусов (рисунок 9), воздействующих на соответствующее количество поршней, возвратно поступательное движение которых преобразуется непосредственно в механическую энергию для вращения генератора, или через гидросистему подается на гидродвигатель вращающий электрогенератор. Такие ветрогенераторы разрабатывает фирма Saphon Energy Тунис. Вращающихся частей конструкция не имеет, внешне напоминает спутниковую антенну. В источнике [8] утверждается, что коэффициент использования энергии ветра КИЭВ Ср равен  $80\%$ . Недостатками таких генераторов являются высокая парусность, что приводит к поломкам парусов или мачты (рисунок 9, б), механизм качания и преобразования возвратно поступательного движения в энергию вращения электрогенератора или гидродвигателя, который приводит во вращение электрогенератор.

В этом устройстве таким образом совмещаются для генерации электроэнергии и возвратно–поступательное движение и вращательное движение, что суммирует недостатки обоих способов движения.

Недостатком также является то, что, если во вращающихся ветрогенераторах движение однонаправленное – вращение в одну сторону, то в качающихся – движение рабочего органа имеет два направления: вперед под воздействием энергии ветра и назад – против ветра. То есть половину цикла движения «вперед–назад» энергия ветра не используется. Поэтому теоретически КИЭВ не может превышать  $50\%$ .

#### 10 Качающиеся пьезоэлектрические ветрогенераторы

Пьезоэлектрические мини ветроэлектрические станции [10] (рисунок 9, 10) работают в г. Масдар в ОАЭ с 2006 г., где установлены 1203 стебля из углеродистого волокна высотой  $55$  м с диаметром  $30$  см у основания и  $5$  см сверху, оснащенными по всему стеблю пьезоэлектрическими дисками, генерирующими электроэнергию при качании стеблей от ветра.



а) б)

Рисунок 10 – Новая (а) и поврежденная (б) парусно–поршневые ветроэлектростанция

Нагрузкой является светодиодная лампа, установленная на вершине мачты–стебля. В [11] указывается, что пьезоэлементы собранные по 100–200 элементов использованы на станции метро «Марунучи» (Токио, Япония) для управления турникетами, освещения сигнальных знаков на автостраде Венеция – Триест, но как оказалось мощность таких генераторов составляет микроджоули (600 мкДж с каждого элемента) и кпд – 0,12 %, длительность выброса энергии 0,08 наносекунд.

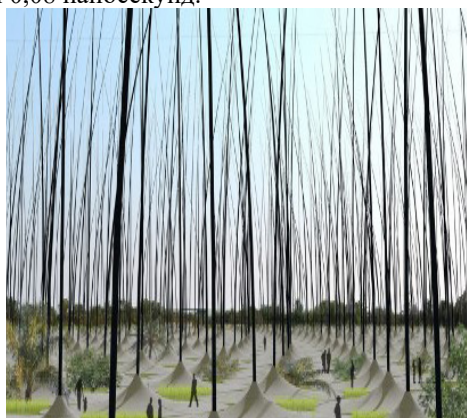


Рисунок 11 – Пьезоэлектрические ветроэлектростанция

Учитывая, что величина энергии, генерируемая пьезогенераторами незначительна, до настоящего времени пьезогенераторы для промышленной генерации электрической энергии не применяются [12, 13].

Материалы и методы исследования. Материалом исследования являются ветрогенераторы различных конструкций с приведенными техническими характеристиками. Известные и новые ветрогенераторы, в том числе по патенту автора, систематизированы по способу влияния ветрового потока на рабочие органы ветроустановок и структурированы в классификационную блок–схему, облегчающую выбор ветроустановок применительно к конкретным условиям.

Методы исследования и анализа, применяемые в статье – сравнение, анализ, систематизация.

#### Результаты и обсуждение.

Вертикально осевые ветроустановки конструктивно проще за счет возможности расположения электрогенератора в нижней части оси вращения и не требуют ориентации на ветер. Коэффициент использования энергии ветра у вертикально осевых генераторов с ротором Савониуса составляет  $C_p = 4–13 \%$ , а быстроходность  $Z = 0,4–1,5$ .

Генераторы Дарье и его модификации имеют идентичные характеристики:  $C_p = 25–35 \%$ ,  $Z = 5–7$  с ротором Дарье (требуют принудительный старт);  $C_p = 25–35 \%$ ,  $Z = 5–7$  с геликоидным ротором; с прямыми лопастями до  $C_p = 25–35 \%$ , до  $Z = 5–7$ .

Многолопастные ветрогенераторы:

- без концентраторов ветрового потока имеют КИЭВ  $C_p = 10–28 \%$  и быстроходность  $Z = 0,4–1,5$ ;
- с концентраторами ветрового потока имеют КИЭВ  $C_p = 11–30 \%$  и быстроходность  $Z = 0,44–1,7$ .

#### Горизонтальные ветрогенераторы

Обороты ветрогенератора с горизонтальным ротором при одинаковой скорости ветра будут разные и зависят от количества лопастей и их длины. С увеличением числа лопастей и их длины быстроходность  $Z$  падает.

При прохождении воздуха через лопасти возникают турбулентные завихрения, тормозящие вращение ветроколеса. Поэтому с увеличением количества лопастей снижается быстроходность: причем,

для 1–лопастного ветроколеса быстроходность  $Z = 9,0$ ;  $C_p = 50 \%$ ;

для 2–х –  $Z = 7,0$ ;  $C_p = 38–45 \%$ ;

3–х –  $Z = 5,0$ ;  $C_p = 33–38 \%$ ;

6–ти –  $Z = 3,0$ ;  $C_p = 15–20 \%$ ;

12–лопастный генератор имеет быстроходность  $Z = 1,2$ ;  $C_p = 23–28 \%$ ;

Горизонтальные генераторы со встречным вращением ветроколес имеют  $C_p = 76\text{--}90\%$  (для двух ветроколес) и  $Z = 7\text{--}16$ , причем удваивается площадь лопастей за счет использования второго ветроколеса, что приведет к возрастанию мощности генерации.

Качающиеся ветрогенераторы ввиду низкой эффективности промышленного значения не имеют.

Информация о финансировании

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP14872147, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

### Выводы.

Предложенная классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком облегчает проектировщикам и пользователям выбрать ветрогенератор с заданными свойствами для конкретных условий применения.

Вертикально осевые ветроустановки конструктивно проще за счет возможности расположения электрогенератора в нижней части оси вращения и не требуют ориентации на ветер. Коэффициент использования энергии ветра у вертикально осевых генераторов с ротором Савониуса составляет  $C_p = 4\text{--}13\%$ , а быстроходность  $Z = 0,4\text{--}1,5$ .

Генераторы Дарье и его модификации имеют идентичные характеристики:  $C_p = 25\text{--}35\%$ ,  $Z = 5\text{--}7$ .

Многолопастные ветрогенераторы: без концентраторов ветрового потока имеют КИЭВ  $C_p = 10\text{--}28\%$  и быстроходность  $Z = 0,4\text{--}1,5$ ; с концентраторами – КИЭВ  $C_p = 11\text{--}30\%$  и быстроходность  $Z = 0,44\text{--}1,7$ .

Для 2-х лопастного ветрогенератора с горизонтальным ротором –  $Z = 7,0$ ;  $C_p = 38\text{--}45\%$ ; для 3-х –  $Z = 5,0$ ;  $C_p = 33\text{--}38\%$ , дальнейшее увеличение лопастей приводит к существенному снижению показателей эффективности.

Горизонтальные генераторы со встречным вращением ветроколес имеют  $C_p = 76\text{--}90\%$  (для двух ветроколес) и  $Z = 7\text{--}16$ , причем удваивается площадь лопастей за счет использования второго ветроколеса, что приведет к возрастанию мощности генерации.

Таким образом, наиболее эффективными в настоящее время являются двухколесные ветрогенераторы, имеющие возможность удвоения скорости вращения ротора относительно статора.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Чижма, С. Н., Молчанов, С. В., Захаров, А. И.** Критерии выбора типа ветроустановок для мобильных ветро–солнечных электростанций. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико–математические и технические науки. 2018. № 1. С. 53–62. [Текст] // <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-vybora-tipa-vetroustanovok-dlya-mobilnyh-vento-solnechnyh-elektrostantsiy/viewer>.

2 **Безруких, П. П., Безруких, П. П. (мл.), Грибков, С. В.** Ветроэнергетика: Справочнометодическое издание / Под общей редакцией П.П. Безруких. – М. : «ИнтехэнергоИздат», «Теплоэнергетик», 2014. — 304 с. (с. 110). [Текст] // <https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/ventoenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v.-z-lib.org.pdf>

3 Быстроходность ветрогенераторов. [Текст] // <https://thepresentation.ru/img/tmb/1/68089/ba7b969b5866c814c284418a6ee27b83-800x.jpg>

4 Различные виды и типы ветрогенераторов [Текст] // <https://altenergiya.ru/veter/vidy-ventrogeneratorov.html>

5 Виды ветрогенераторов: плюсы и минусы, производители устройств и необычные конструкции. [Текст] // <https://energygo.house/veter/vidy-ventrogeneratorov.html>

6 Вертикальный ветрогенератор 2 кВт FalconEuro, российский – цена от производителя – доставка по РФ. [Текст] // <https://proinstrument-shop.ru/products/vertikalnyj-ventrogenerator-2-kvt>

7 **Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К.** Ветрогенератор со встречновращающимися ветроколесами. Патент РК № 31254 15.06.2016, бюл. № 6.

8 **Алешков, И. Н., Карбушев, В. Ф.** Качающий парус | Изобретения. Патент РФ № 2254495 от 15.12.2003 г: [Текст] // <https://maxpark.com/community/4484/content/1843084>

9 Парусный ветрогенератор. [Текст] // <https://stronews.ru/parusnyj-ventrogenerator/>

10 Пьезоэлектрический ветрогенератор | Проект Заряд. [Текст] // <http://zaryad.com/2011/08/11/pezoelektricheskiy-ventrogenerator/>

11 Пьезогенераторы – новые источники электроэнергии. Фантазии или реальность?» Сайт для электриков – статьи, советы, примеры, схемы. [Текст] // <http://elektrik.info/main/news/652-pezogenerator-nyye-alternativnye-istochniki-elektroenergii.html>

12 Abdal-Kadhim, A. M., Kok, Swee Leong, Kok-Tee, Lau. Impact based piezoelectric energy harvesting: effect of single step's force and velocity // J. of Telecommunication, Electronic and Comp. Engineering. 2016. Vol. 8, N 5. P. 125–129. [Текст] // [https://www.researchgate.net/publication/309427410\\_Impact\\_Based\\_Piezoelectric\\_Energy\\_Harvesting\\_Effect\\_of\\_Single\\_Step's\\_Force\\_and\\_Velocity](https://www.researchgate.net/publication/309427410_Impact_Based_Piezoelectric_Energy_Harvesting_Effect_of_Single_Step's_Force_and_Velocity)

13 Wang, F., Wu, W., Soroush, M., Amin, Abedini A. Energy Harvesting with a Piezoelectric Thunder // J. of Applied Nonl. Dynamics. 2016. Vol. 5, N 4. P. 423–439. [Текст] // [https://www.researchgate.net/publication/315035370\\_Energy\\_Harvesting\\_With\\_a\\_Piezoelectric\\_THUNDER](https://www.researchgate.net/publication/315035370_Energy_Harvesting_With_a_Piezoelectric_THUNDER)

## REFERENCES

1 CHizhma, S. N., Molchanov, S. V., Zaharov, A. I. Kriterii vybora tipa vetroustanovok dlya mobil'nyh vetro-solnechnyh elektrostancij. [Criteria for choosing the type of wind turbines for mobile wind-solar power plants.] Vestnik Baltijskogo federal'nogo universitetaim. I. Kanta. Ser.: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki. 2018. № 1. P. 53–62. [Text] // <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-vybora-tipa-vetroustanovok-dlya-mobilnyh-vetro-solnechnyh-elektrostantsiy/viewer>.

2 Bezrukih, P. P., Bezrukih, P. P. (ml.), Gribkov, S. V. Vetroenergetika: Spravochnometodicheskoe izdanie [Wind Energy: Reference Methodological Edition]/ Pod obshchej redakciej P. P. Bezrukih. – Moscow : «IntekhenergoIzdat», «Teploenergetik», 2014. – 304 p. (p. 110). [Text] // [https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v.-z-lib.org\\_.pdf](https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v.-z-lib.org_.pdf)

3 Bystrohodnost' vetrogeneratorov. [The speed of wind turbines], [Text] // <https://thepresentation.ru/img/tmb/1/68089/ba7b969b5866c814c284418a6ee27b83-800x.jpg>

4 Razlichnye vidy I tipy vetrogeneratorov [Various types and types of wind turbines]. [Text] // <https://altenergiya.ru/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>.

5 Vidy vetrogeneratorov: plyusy i minusy, proizvoditeli ustrojstv i neobychnye konstrukcii [Types of wind turbines: pros and cons, device manufacturers and unusual designs]. [Text] // <https://eneruuuugo.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

6 Vertikal'nyj vetrogenerator 2 kVt Falcon Euro, rossijskij – cena ot proizvoditelya – dostavka po RF [Vertical wind generator 2 kW Falcon Euro, Russian – price from the manufacturer – delivery across the Russian Federation]. [Text] // <https://proinstrument-shop.ru/products/vertikalnyj-vetrogenerator-2-kvt>.

7 Kajdar, A. B., SHapkenov, B. K. Vetrogenerator so vstrechno vrashchayushchimisya vetrokolesami [Wind generator with counter-rotating wind wheels]. Patent RK № 31254 15.06.2016, byul. № 6.

8 Aleshkov, I. N., Karbushev, V. F. Kachayushchij parus | Izobreteniya. Patent RF № 2254495 ot 15.12.2003 g: [Rocking sail | Inventions. Patent of the Russian Federation No. 2254495 dated December 15, 2003:]. [Text] // <https://maxpark.com/community/4484/content/1843084>

9 Parusnyj vetrogenerator [Sailing wind turbine]. [Text] // <https://stronews.ru/parusnyj-vetrogenerator/>

10 P'ezoelektricheskiy vetrogenerator | ProektZaryad. [Piezoelectric Wind Generator | Charge project.]. [Text] // <http://zaryad.com/2011/08/11/pezoelektricheskiy-vetrogenerator/>

11 P'ezogeneratory – novye istochniki elektroenergii. Fantazii ili real'nost'?» Sajt dlya elektrikov – stat'i, sovery, primery, skhemy [Piezogenerators – new sources of electricity. Fantasy or reality? Site for electricians – articles, tips, examples, diagrams]. [Text] // <http://elektrik.info/main/news/652-pezogeneratory-novye-alternativnye-istochniki-elektroenergii.html>.

12 Abdal-Kadhim, A. M., Kok, Swee Leong, Kok-Tee, Lau. Impact based piezoelectric energy harvesting: effect of single step's force and velocity // J. of Telecommunication, Electronic and Comp. Engineering. 2016. Vol. 8, N 5. P. 125–129. [Text] // [https://www.researchgate.net/publication/309427410\\_Impact\\_Based\\_Piezoelectric\\_Energy\\_Harvesting\\_Effect\\_of\\_Single\\_Step's\\_Force\\_and\\_Velocity](https://www.researchgate.net/publication/309427410_Impact_Based_Piezoelectric_Energy_Harvesting_Effect_of_Single_Step's_Force_and_Velocity).

13 Wang, F., Wu, W., Soroush, M., Amin, Abedini A. Energy Harvesting with a Piezoelectric Thunder // J. of Applied Nonl. Dynamics. 2016. Vol. 5, N 4. P. 423–439. [Text] // [https://www.researchgate.net/publication/315035370\\_Energy\\_Harvesting\\_With\\_a\\_Piezoelectric\\_THUNDER](https://www.researchgate.net/publication/315035370_Energy_Harvesting_With_a_Piezoelectric_THUNDER).

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

А. Б. Кайдар<sup>1</sup>, С. С. Исеинов<sup>1</sup>, Р. М. Искаков<sup>1</sup>,

Б. Қ. Шапкенов<sup>2</sup>, С. Қ. Шерязов<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Оңтүстік Орал мемлекеттік Аграрлық университеті,

Ресей Федерациясы, Челябинск қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖІКТЕЛУІ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

*Мақалада жел электрстанциялары талданады. Көлденең және тікәйналу осі бар жел қондырғылары, сондай-ақ жел ағынының әсерінен тербелетін жұмыс органының энергиясын пайдаланатын желқондырғылары қарастырылады.*

*Мақалада жел қондырғыларының 10 түрі қарастырылып, конструкциясы сипатталған, жел энергиясын пайдалану жылдамдығы мен жылдамдығы сияқты техникалық сипаттамалары берілген, жел*



қондырғыларының қасиеттері, ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері талданған. Жұмыс істеу принциптері, көлемі берілген. Көлденең роторы бар жел қондырғылары жел энергиясын пайдаланудың жоғары коэффициенті мен жылдамдығының жоғары болуына байланысты тік айналу осі мен тербелмелі жел турбиналарына қарағанда тиімдірек екендігі атап өтілді.

Жел ағынымен әрекеттесу әдісі бойынша жел қондырғыларының классификациясы келтірілген, ол басқа белгілілерден тербелмелі жел турбиналарының класы және екі қарама-қарсы айналатын жел турбиначасы бар көлденең айналу осі бар генераторлардың қосалқы сыныбымен ерекшеленеді. ротор мен статордың бұрыштық жылдамдықтарының қосындысын қамтамасыз ететін электр генераторының статоры мен роторына бекітілген дөңгелектер енгізіледі. Жел дөңгелектерінің кері айналуы бар жел генераторының артықшылығы мен жаңалығы статорға қатысты ротордың айналу жылдамдығын екі есе арттыру мүмкіндігі болып табылады. Жел турбиначасының жаңалығы авторлардың өнертабысқа патентімен расталады. Жылдамдықты екі есе арттыру генерацияның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Генераторлық қуат генератор элементтерін (ротор мен статор) екі жел дөңгелегі арқылы айналдыратын белсенді жазықтықтарды ұлғайту арқылы артады. бүкіл жел турбиначасы үшін екі жел доңғалақтарының жел энергиясын пайдалану коэффициенті ЖЭПК жинақталып, қарсы айналу есебінен жылдамдық екі еселенеді.

Кілтті сөздер: Жел генераторлары, жел дөңгелектері, жел турбиналары, жылдамдық, тиімділік, қалақ, айналу осі, тербелмелі генераторлар.

A. B. Kaidar<sup>1</sup>, S. S. Issenov<sup>1</sup>, R. M. Iskakov<sup>1</sup>, B. K. Shapkenov<sup>2</sup>,  
S. K. Sheryazov<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>South Ural state agrarian University, Russian Federation, Chelyabinsk

Material received on 15.12.22

## CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF WIND POWER PLANTS

*The article analyzes wind power plants. Wind turbines with a horizontal and vertical axis of rotation, as well as wind turbines using the*

*energy of a working body swinging under the influence of a wind flow, are considered.*

*The article discusses 10 types of wind turbines, describes the design, provides technical characteristics, such as the utilization rate of wind energy and speed, analyzes the properties of wind turbines, features, advantages and disadvantages. The principles of work, scope are given. It is noted that wind turbines with a horizontal rotor are more efficient than wind turbines with a vertical axis of rotation and oscillating wind turbines due to a higher coefficient of wind energy utilization and high speed.*

*The classification of wind turbines according to the method of interaction with the wind flow is given, which differs from other known ones in that a class of oscillating wind turbines and a subclass of generators with a horizontal axis of rotation with two counter-rotating wind turbine wheels are introduced, which are attached to the stator and rotor of the electric generator, providing the summation of the angular velocities of the rotor and stator. The advantage and novelty of a wind generator with counter-rotation of wind wheels is the possibility of doubling the speed of rotation of the rotor relative to the stator. The novelty of the wind turbine is confirmed by the authors' patent for the invention. The doubling of the speeds makes it possible to increase the generation efficiency. The generation power is increased by increasing the active planes that rotate the elements of the generator (rotor and stator) by two wind wheels, the wind energy utilization coefficient WEUC of two wind wheels for the entire wind turbine is summed up, and the speed is doubled due to counter-rotation.*

*Keywords: Wind generators, wind wheels, wind turbines, speed, efficiency, blade, rotation axis, oscillating generators.*

**\*D. M. Kalmanova**

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan Astana,

## **DEVELOPMENT OF AN ENERGY SUPPLY SYSTEM BASED ON THE PROTOTYPE «KAZEOSAT – 2»**

*This article discusses the development of a prototype power supply system «KAZEOSAT-2» for which two types of load behaviour are modeled and described. In the first approach, the analysis focused on using load duty cycles to simulate the average power consumption per orbit in order to study the behaviour of the subsystem for various orbit scenarios. The second approach consisted in modeling the load switching behaviour taking into account the event of the mission flight sequence. The article also analyses the state of the energy balance based on the events of the mission flight sequence, as well as predicts the effect of power peaks on battery discharge behaviour. Busbar regulation was implemented, the converter block and converter efficiency were modeled using resistive resistance in parallel to its input ports. It is noted that the fill factor of the converter was controlled using a PI controller and a comparator, which measure the load voltage and compare it with the reference value.*

*Keywords: reliability, block diagram, modelling, block, subsystem*

### **Introduction**

The reliability block diagram is designed in such a way that it is possible to identify each element or function used in the product. Each block of the reliability flowchart represents one element of the function contained in the element. The blocks in the diagram follow a logical order that refers to the sequence of events during the prescribed operation. The reliability scheme of the power supply system (PSS) is shown and described as follows [1].

### **Materials and methods**

To fulfil the operational requirements of the SC subsystem, to determine the failures of the PSS and the selected environmental conditions, 7 sections of SC with 1 auxiliary section were required. Therefore, the SC subsystem will contain 8 sections of SC, provided that the failure of one section of SC will not lead to a system failure. Each section of SC contains three sequential blocks, which are a

SC module, an isolating diode (consists of a diode matrix that is used to isolate malfunctions, that is, blocking SC during shading periods and protecting the system from short circuit with shunting of the SC module in case of excess power) and a shunt regulator [consists of transistor matrix with a protective fuse, which is used for shunting exceeding the power of SC].

The battery subsystem used Li-Ion with 22 cells connected in series to maintain the bus voltage within the permissible range, provided that the failure of one section does not lead to a system failure. Each section will have one battery cell connected in parallel by a charge equalization unit to avoid charging and battery cell discharge malfunction [1].

For the power management and control subsystem, the microcontroller module (consisting of two parallel circuits) works as a backup module and the SM control module. SM consists of three sections of control circuits connected in a «2 out of 3» voting configuration for supervising the microcontroller module.

A reliability flowchart was generated from the subsystem specifications, failure modes and functional scheme in the following form: «2/8», «2/22», «2/3» they mean that the failure of one element is acceptable, but the failure of two or more elements leads to the failure of the subsystem.

Then these values were calculated in the MATLAB/Simulink model, which simulates the operation of a solar battery in orbit. The current generated by the matrix was used to power the battery and loads, generating data on the behaviour of the energy balance of the system. The EPS model is shown in Fig. 1, it consists of solar panels, a single-stage linear shunt regulator, a battery pack and four load buses: an unregulated bus, a 28 V bus, a 5 V bus and a 12 V bus.

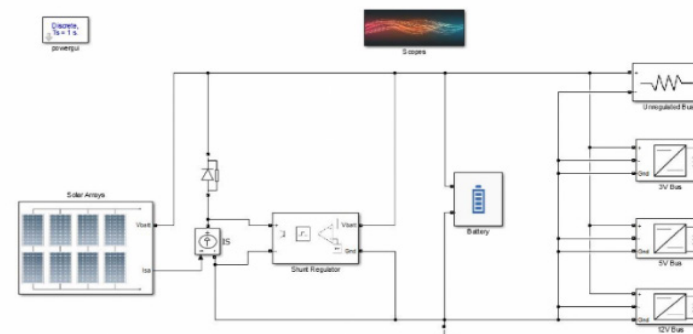


Figure 1 – EPS model

Two types of load behaviour were modeled. In the first approach, the analysis focused on using load duty cycles to simulate the average power consumption per

orbit in order to study the behaviour of the subsystem for various orbit scenarios. In this case, load switching was neglected, and the power consumption for each bus was modeled based on its average consumption. The second approach consisted in modeling the load switching behaviour taking into account the event of the mission flight sequence. With this approach, it became possible to analyse the state of the energy balance in more detail based on the events of the mission flight sequence, as well as predict the effect of power peaks on battery discharge behaviour. Since the lifetime of the «KazEOSat-2» mission is long (about 7 years), the analysis discussed in the rest of this article suggests that the degradation of solar cells is very large ( $L_d \approx 90\%$ ).

The «Solar panels» unit in Fig. 2 simulates the operation of «KazEOSat-2» batteries. It consists of input data with input-output curve points (i.e.  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $V_{mp}$  and  $I_{mp}$ ) for each array (+X, -X, +Z and -Z) connected to a MATLAB function block that implements the equation model. 1, 2 and 3.

$$I = I_{sc} \left[ 1 - C_1 \left( e^{\frac{V}{c_2 V_{oc}}} \right) - 1 \right] \tag{1}$$

$$C_1 = \left( 1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right) e^{-\frac{V_{mp}}{c_2 V_{oc}}} \tag{2}$$

$$C_2 = \frac{\frac{V_{mp}}{V_{oc}} - 1}{\ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \tag{3}$$

where:  $I_{sc}$  – current during short circuit;  
 $V_{sc}$  – voltage during short circuit;  
 $V_{mp}$  – maximum point voltage;  
 $I_{mp}$  – maximum current point;

The total generated current was transmitted to the central bus, and its voltage was used in the feedback loop with the model, adding a voltage drop of 1.5 V in each matrix (Fig.2).

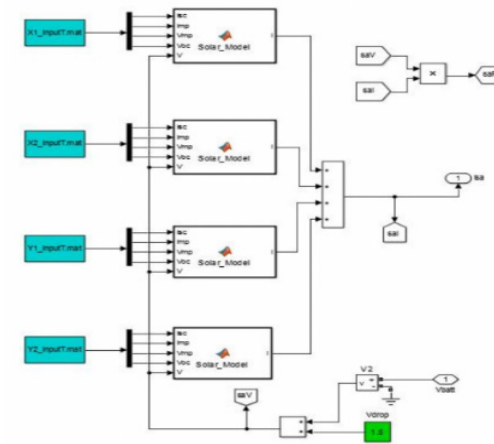


Figure 2 – STC parameters

The input of electrical data was duly taken into account, taking into account the angle of incidence of the sun and the operating temperatures in orbit. Thus, all solar cells are combined into an appropriate single array model for this particular simulation.

A single-stage PWM shunt controller was modeled as a comparator that compares the bus and the reference voltage (12 V), a PWM generator and a universal bridge unit (Fig. 3). The “PWM generator” unit was tuned to a frequency of 10 Hz and generates a two-level pulse using the comparator values as a reference modulating signal to power the unit «Universal Bridge». The reference voltage value is less than the maximum charging voltage allowed for the battery pack (i.e. 12.3 V).

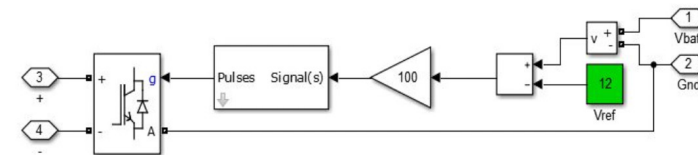


Figure 3 PWM generator and universal bridge unit

**Results and discussion**

The battery pack was implemented in the MATLAB model using the ‘Battery’ unit provided in the Simscape Power Systems library (Fig. 4). The unit parameters were configured in accordance with the table of characteristics of the battery pack, that is, with a nominal voltage of 10.8 V (3 batteries of 3.6 V in series), with a nominal capacity of 15 Amp hour and a typical battery response time of 30 seconds. According to the previous analysis for the thermal subsystem «KazEOSat-2», the predicted operating temperature of the battery is from +13.5 °C to +13.8 °C. Therefore, the maximum value is +13.8 °C (i.e. 286.95 K) was set as a constant ambient temperature in the model.

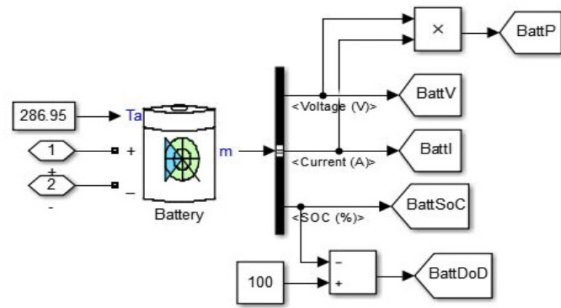


Figure 4 – MATLAB using the ‘Battery’ block

Bus regulation was implemented by connecting the ‘Two Quadrant DC/DC Converter’ unit (Fig.5) between an unregulated tire and regulated loads. The converter unit was modeled using a switching function model directly controlled by regulating the average on/off duty cycle ( $0 < D < 1$ ) of switching, which ensures the fastest simulation possible. The fill factor of the converter was controlled using a PI controller and a comparator, which measure the load voltage and compare it with the reference value (Fig.5). The PI controller was configured in a continuous time domain [2].

The efficiency of the converter was modeled using a resistive resistance parallel to its input ports. The impedance consumes constant power and can be associated with fixed losses of the converter. It was implemented as a parameter of the “Current source limiter resistance” block, and its value is given by the formula.:

$$R = \frac{V_{butt}^2}{P_{reg-bus}(1 - \eta_{conv})} \quad (4)$$

where:  $P_{reg-bus}$  – power of regulated bus;  
 $\eta_{conv}$  – efficiency of converter;  
 $V_{batt}$  – battery voltage.

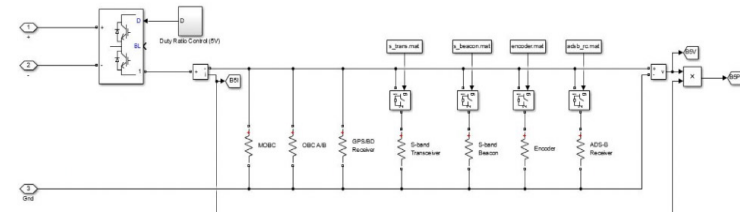


Figure 5 – MATLAB load model for a regulated 5V bus

### Conclusions

Since most DC converters currently have an efficiency of more than 90 %, this value was used in the following analysis.

Loads are modeled as total resistance with constant consumption of active power. Figure 5 of the regulated bus shows that some loads were connected to the switch, which was controlled by external data provided by the MAT file. This data contains information about the on-off states of the load. Loads that were not connected to the switch were always on during the satellite flight. For an unregulated bus, the load was directly connected to the battery terminal, as can be seen in Figure 6.

The load of the ‘Power Management Unit’ on this bus simulates the internal consumption of the controller of the PSS.

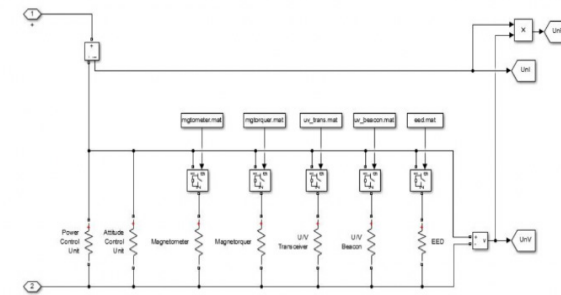


Figure 6 MATLAB load model for unregulated bus

For the first approach to modeling, that is, the analysis of average power consumption, the loads in the tires were replaced by a single impedance with active power consumption equal to the total average consumption of the bus.

#### REFERENCES

1 **Wang, Haosheng** Modeling and Simulation of Spacecraft Power System Based on Modelica / Haosheng Wang, Hongen Zhong. – Web of Conferences 233, 04033 (2021)

2 **Tishchenko, Anatoly K.** «Machines» / Anatoly K. Tishchenko, Eugeny M. Vasiljev, Artyom O. Tishchenko. – 8/64 –2020

3 **Swinerd, G.** Spacecraft systems engineering: edited by Peter Fortescue / Graham Swinerd, John Stark. – 4th ed. P. cm.

4 **Maral, G.** Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology / Gerard Maral, Michel Bousquet, Zhili Sun. - 6th Edition. – 2020

5 **Gordeev, K. G.** Kriterii vybora shemystabilizatsii napryajeniya solnechnyh batarey dlya sistemy energosnabjeniya kosmicheskogo apparata [Criteria for choosing a solar battery voltage stabilization scheme for the spacecraft power supply system]: elektronnye i elektromehaniicheskiye sistemy i ustroystva / K. G. Gordeev, Yu. A. Shinyakov, A. I. Chernyshov, V. O. Elman. – Sankt-Peterburg. nauch. tr. – Novosibirsk: Nauka, 2007. – 43-48 P. // Electronic and electromechanical systems and devices: St. Petersburg. scientific tr. – Novosibirsk : Science

6 **Flora, C.** Battery Program and Progress / Flora C., Neubauer J., Dembeck J., Pearson C. – The NASA EMU, 2009. – 30 p.

7 **Gruzdev, A. I.** Sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva vysokotekhnologicheskikh avtonomnykh istochnikov elektricheskoy energii v Rossii [Status and development prospects for the production of high-tech autonomous sources of electrical energy in Russia]: Elektrohimiicheskaya energetika / Electrochemical energy / A. I. Gruzdev. – 2006 – Т. 6. – № 1. – P. 3 – 29.

8 **Volkov, N. G.** Nadejnost' elektrosnabjeniya. [Reliability of power supply]: Ucheb. posobie/ N. G. Volkov. – Tom. politech. un–ty. Tomsk, 2003-140 p.

9 **Colombo, G.** Satellite Power System Simulation / G. Colombo, U. Grasseli. -1997

10 Oliveira de Magalhães, Renato Space Power Topology Selection and its System Level Modeling and Control / Renato Oliveira de Magalhães, Herbi Junior Pereira Moreira. – 2020

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Wang, Haosheng Modeling and Simulation of Spacecraft Power System Based on Modelica / Haosheng Wang, Hongen Zhong. – Web of Conferences 233, 04033 (2021)

2 **Tishchenko, Anatoly K.** «Machines» / Anatoly K. Tishchenko, Eugeny M. Vasiljev, Artyom O. Tishchenko. – 8/64 –2020

3 **Swinerd, G.** Spacecraft systems engineering: edited by Peter Fortescue / Graham Swinerd, John Stark. – 4th ed. p. cm.

4 **Maral, G.** Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology / Gerard Maral, Michel Bousquet, Zhili Sun. – 6th Edition. – 2020

5 **Гордеев, К. Г.** Критерии выбора схемы стабилизации напряжения солнечных батарей для системы электроснабжения космического аппарата: Электронные и электромеханические системы и устройства / К. Г. Гордеев, Ю. А. Шиняков, А. И. Чернышев, В. О. Эльман. -Санкт-Петербург: науч. тр., Новосибирск : Наука, 2007. – 43– 48 с.

6 **Flora, C.** Battery Program and Progress / Flora C., Neubauer J., Dembeck J., Pearson C. – The NASA EMU, 2009. – 30 p.

7 **Груздев, А. И.** Состояние и перспективы развития производства высокотехнологичных автономных источников электрической энергии в России / А. И. Груздев. - Электрохимическая энергетика, – 2006. – Т. 6. – № 1. – С. 3 – 29.

8 **Волков, Н. Г.,** Надежность электроснабжения. Учеб. пособие / Волков Н. Г. – Том. политех. ун– т. Томск, 2003–140 с.

9 **Colombo, G.** Satellite Power System Simulation / G. Colombo, U. Grasseli. -1997

10 Oliveira de Magalhães, Renato Space Power Topology Selection and its System Level Modeling and Control / Renato Oliveira de Magalhães, Herbi Junior Pereira Moreira. – 2020

Material received on 15.12.22

\*Д. М. Калманова

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

#### «KAZEOSAT -2» ПРОТОТИПІ БОЙЫНША ЭЛЕКТРМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ЖҮЙЕСІН ДАМУЫ

*Бұл мақалада «KAZEOSAT -2» прототипінің электрмен жабдықтау жүйесінің дамуы қарастырылады, ол үшін жүктеме әрекетінің екі түрі модельденеді және сипатталады. Бірінші тәсілде талдау әртүрлі орбиталық сценарийлер үшін ішкі жүйенің әрекетін зерттеу мақсатында орбитаға орташа қуат тұтынуды модельдеу*

үшін жүктеменің жұмыс циклдерін пайдалануға бағытталған. Екінші тәсіл миссияның ұшу реті оқигасын ескере отырып, жүктемені ауыстыру әрекетін модельдеу болды. Сондай-ақ, мақалада миссияның ұшу реттілігі оқигаларына негізделген энергия балансының күйлері талданады және қуат шыңдарының батареяның зарядсыздану әрекетіне әсерін болжайды. Шина реттеуі жүзеге асырылды, түрлендіргіш блогы модельденді және түрлендіргіштің тиімділігі оның кіріс порттарымен параллельді резистивті кедергі арқылы модельденді. Конвертердің жұмыс циклі жүктеме кернеуін өлшейтін және оны анықтамалық мәнмен салыстыратын PI контроллері мен компаратордың көмегімен басқарылатыны атап өтілді.

*Кілтті сөздер: сенімділік, блок-схема, модельдеу, блок, ішкі жүйе*

\*Д. М. Калманова

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. г. Астана

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭНЕРГОПИТАНИЯ НА ПРОТОТИПЕ «KAZEOSAT -2»

В данной статье рассматривается разработка системы энергопитания прототипа «KAZEOSAT-2» для которой смоделировано и описано два типа поведения нагрузки. В первом подходе анализ был сосредоточен на использовании рабочих циклов нагрузок для моделирования средней потребляемой мощности на орбиту, чтобы изучить поведение подсистемы для различных сценариев орбиты. Второй подход состоял в моделировании поведения переключения нагрузок с учетом события последовательности полетов миссии. Также в статье проанализированы состояния энергетического баланса на основе событий последовательности полета миссии, а также спрогнозировано влияние пиков мощности на поведение разряда батареи. Было реализовано регулирование шин, смоделирован блок преобразователя и эффективность преобразователя с использованием резистивного сопротивления параллельно его входным портам. Отмечено, что коэффициент заполнения преобразователя контролировался с помощью PI-контроллера и компаратора, которые измеряют напряжение нагрузки и сравнивают его с эталонным значением.

*Ключевые слова: надежность, блок-схема, моделирование, блок, подсистема*

МРНТИ 50.01.81

[doi.org/10.48081/PURM7555](https://doi.org/10.48081/PURM7555)

**\*С. Н. Камарова<sup>1</sup>, О. Н. Онищенко<sup>2</sup>, Г. Г. Жабалова<sup>3</sup>,  
О. Н. Леликова<sup>4</sup>, С. К. Абильдинова<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Карагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау

<sup>5</sup>Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева,

Республика Казахстан, г. Алматы

#### АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАЗРЯЖЕНИЯ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ ТЭЦ-2 АО «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ»

В данной статье представлена автоматическая система управления технологического процесса (АСУ ТП) пылеприготовления ТЭЦ-2 АО «АрселорМиттал Темиртау» (АМТ), которая позволит контролировать режим работы оборудования пылесистемы, собирать и обрабатывать информацию о ходе процесса, поддерживать заданные параметры, обеспечивающие безопасную работу пылесистемы при максимальной ее экономичности, а также выдавать управляющие воздействия на технологический процесс в соответствии с принятым критерием управления. Для разработки схемы системы автоматического управления (АСУ) пылеприготовления ТЭЦ-2 АО «АМТ» необходимо определить режимы работы теплотехнического оборудования для обеспечения оптимального размола твердого топлива, а также параметры контроля, управления и сигнализации. Объектом управления пылесистемы ТЭЦ-2 АО «АМТ» является шаровая барабанная мельница (ШБМ), а процессом - размол твердого топлива. Элементами (АСУ ТП) является «объект и регулирующее устройство». В статье представлено автоматическое регулирование разрежения шаровой барабанной мельницы в условиях ТЭЦ-2, с целью определения динамических параметров объекта регулирования. Это позволит определить динамические параметры объекта регулирования, а также моделировать объект. В моделирующем комплексе Simulink программного пакета Matlab построена модель разомкнутой системы.

*Ключевые слова: шаровая барабанная мельница, автоматическая система, объект регулирования, частотные характеристики, регулятор.*

### Введение

Современные системы топливоподачи тепловых электрических станций (ТЭС) должны обеспечить надежную работу в режиме с наилучшими технико-экономическими показателями. Поиск новых решений, повышающих эффективность процесса подготовки топлива, является на сегодняшний день актуальным. Технологический процесс (ТП) подготовки топлива с помощью шаровых барабанных мельниц важен для многих ТЭС, хотя процессы измельчения энергоемки.

В работах [1, 2, 3, 4] были предложены мероприятия по повышению производительности ШБМ, а также представлены разработки автоматического управления для различных схем системы пылеприготовления ТЭС. Учитывая опыт [1, 2, 3, 4] для повышения надежности, маневренности и экономичности, предложена разработка оптимального управления системы пылеприготовления ТЭЦ-2 АО «АрселорМиттал Темиртау», где процесс подготовки топлива должен автоматически регулироваться.

Автоматическая система управления технологического процесса (АСУ ТП) системы пылеприготовления ТЭЦ-2, позволит контролировать режим работы оборудования пылесистемы, собирать и обрабатывать информацию о ходе процесса, поддерживать заданные параметры, обеспечивающие безопасную работу при максимальной ее экономичности, а также выдавать управляющие воздействия на ТП в соответствии с принятым критерием управления [5]. Основной задачей процесса управления является выработка и реализация решений, обеспечивающих эффективное достижение поставленной цели [5, 6, 7].

### Материалы и методы

Объектом управления пылесистемы ТЭЦ-2 АО «АМТ» является шаровая барабанная мельница (ШБМ), а процессом - размол твердого топлива. Элементами (АСУ ТП) является «объект и регулирующее устройство». Технологический процесс системы пылеприготовления (СПП) можно разбить на ряд более простых неравнозначных составных, но связанных между собой процессов [6, 7].

Процесс измельчения и подсушка твердого топлива с промежуточным бункером осуществляется в тихоходных шаровых барабанных мельницах (ШБМ). Производительность ШБМ и расход топлива, поступающего в топку, не связаны между собой [8]. Мельница работает независимо от нагрузки

котла и поэтому ее оценивают по удельному расходу электроэнергии на размол пыли [9].

Рассматривая шаровую барабанную мельницу как объект регулирования, определены контролируемые и регулируемые параметры. Поддержание заданных параметров позволит увеличить производительность мельниц и снизить удельный расход электроэнергии.

Для качественного автоматического управления процессом подготовки угольной пыли для котлов ТП-81 определены входные и выходные рабочие параметры ШБМ. Входные сигналы характеризуются входной функцией  $x(t)$  и выходные сигналы функции  $y(t)$ , зависящие от  $x(t)$  [10]. Входные координаты имеют регулирующий характер, а  $x(t)$  вызывает отклонение регулируемой координаты от заданного значения и носит возмущающее воздействие. Управляющее  $u(t)$ , регулирующее  $x(t)$  воздействие служит для поддержания регулируемой координаты  $y(t)$  в соответствии с поддержанием регулируемой координаты на заданном уровне (рис. 1) [6].

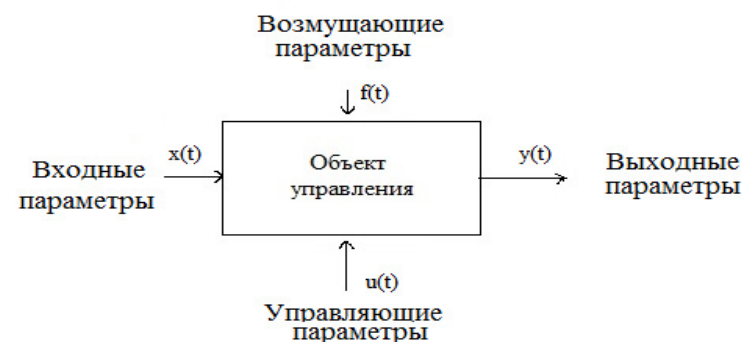


Рисунок 1 – Входные и выходные переменные взаимосвязанных функции системы подготовки топлива на ТЭС

Входные величины: производительность ШБМ по размолу топлива; подача угля в мельницу; расход сушильного агента; частота вращения ШБМ; загрузка мельницы.

Выходные величины: температура аэросмеси; фракционный состав; производительность по готовой пыли.

Возмущающие величины: перегрузка, недогрузка мельницы мелющими шарами; изменение фракции топлива; износ ШБМ.

Управляющие величины: загрузка ШБМ шарами и топливом; расход горячего воздуха; перепад давления; температура сушильного агента.

Входные и выходные величины взаимосвязанных координат системы подготовки топлива на ТЭС должны поддерживаться в заданном режиме. Это позволит обеспечить заданное количество пыли, оптимизировать процесс подготовки угольной пыли на ТЭС.

### Результаты и обсуждение

Для автоматизации контура регулирования разряжения перед ШБМ и определения динамических параметров объекта регулирования, были непосредственно измерены постоянная времени объекта  $T$  и транспортное запаздывание  $\tau$ , с момента включения мельничного вентилятора. Переходный процесс регулирования разряжения достаточно скоротечен и не позволяет снять кривую разгона для графической обработки. Был произведен рядовой запуск мельничного вентилятора на номинальную частоту вращения (1450 об/мин). Транспортное запаздывание  $\tau$  определялось с момента запуска до момента начала роста разряжения по местному прибору и составило около 5 с. Постоянная времени объекта  $T$  составляет, как известно, 63% для апериодического звена первого порядка. Данный метод определения динамических параметров объекта регулирования позволяет моделировать объект только апериодическим звеном первого порядка. Номинальное разряжение составляет 20 мм.вод.ст. или 200 Па и является установившимся значением. 63 % от 200 Па составляет 126 Па. При определении постоянной времени объекта  $T$ , замерялось время достижения 126 Па с момента запуска мельничного вентилятора.

Таким образом: транспортное запаздывание  $\tau=5$  с; постоянная времени объекта  $T=18$  с. Определяем коэффициент объекта по управляющему воздействию:

$$k = \frac{200 \text{ Па}}{1480 \text{ об/мин}} = 0,135 \quad (1)$$

Таким образом, передаточная функция объекта регулирования:

$$W_o(p) = \frac{k}{T_p+1} \times e^{-\tau p} = \frac{0,135}{18p+1} \times e^{-5p} \quad (2)$$

Без учета запаздывания:

$$W_o(p) = \frac{k}{T_p+1} = \frac{0,135}{18p+1} \quad (3)$$

В комплексном виде:

$$W_o(j\omega) = \frac{0,135}{1+18j\omega}, \quad (4)$$

Избавляемся от  $j$  в знаменателе:

$$W_o(j\omega) = \frac{0,135 \times (1 - j18\omega)}{1 + 324\omega^2} = \frac{0,135 - j2,43\omega}{1 + 324\omega^2}. \quad (5)$$

Разделяем вещественную и мнимую части:

$$\text{Re}W_o(j\omega) = \frac{0,135}{1 + 324\omega^2}, \quad \text{Im}W_o(j\omega) = \frac{2,43\omega}{1 + 324\omega^2}. \quad (7)$$

Для построения частотных характеристик необходимо получить модуль и аргумент амплитудно-фазовой характеристики, т.е. АЧХ (амплитудно-частотную характеристику) и ФЧХ (фазо-частотную характеристику).

$$\text{АЧХ: } A(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}, \quad \text{X: } \varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}}{\text{Re}} \quad (9)$$

Ряд рассчитанных в электронной таблице Microsoft Excel значений частотных характеристик приведен в табл. 1. Зададимся запасом по фазе в  $50^\circ$ . Определим частоту, при которой фазовый сдвиг системы приблизительно равен  $-180^\circ + 50^\circ + 5^\circ = -125^\circ$ .

По табл. 1 находим 1,2 рад/с, модуль

Коэффициент пропорциональной части определяем по формуле:

$$K_n = \frac{1}{|W_{об}(j\omega)|} = \frac{1}{1,25} = 0,8 \quad (10)$$

Определяем частоту:

$$\omega_0 = 0,1 \times \omega_1 = 0,1 \times 1,2 = 0,12 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (11)$$

Коэффициент интегральной части:

$$K_{ii} = K_n \times \omega_0 = 0,8 \times 0,12 = 0,096 \approx 0,1 \text{ с}^{-1} \quad (12)$$

Таблица 1 – Частотные характеристики объекта

$\omega$ , рад/с	Модуль	Аргумент
0,1	15,119412	-93,32507067
0,2	7,5588242	-96,62796863
0,3	5,03823682	-99,8872496
0,4	3,77765005	-103,0832209
0,5	3,02106411	-106,198505



ω, рад/с	Модуль	Аргумент
0,6	2,51647918	-109,2184788
0,7	2,15589548	-112,1314995
0,8	1,88531321	-114,928929
0,9	1,67473256	-117,604992
1	1,50615373	-120,1565118
1,1	1,36812237	-122,5825699
1,2	1,25300231	-124,8841326
1,3	1,15550702	-127,063675
1,4	1,07186046	-129,1248302
1,5	0,99929359	-131,0720745
1,6	0,93572966	-132,9104575
2	0,74450681	-139,2851243
3	0,48723424	-150,1560192
4	0,35646867	-156,7180721
5	0,27669207	-161,0047152
6	0,22273719	-163,9937645
7	0,18379593	-166,1859876
8	0,15443077	-167,8580321
9	0,13158624	-169,1733373
10	0,11339853	-170,2340297

Тогда передаточная функция регулятора приобретает вид:

$$W_{\text{н.пер}}(p) = 0,8 + \frac{0,1}{p} = 0,8 + \frac{1}{10p}, \quad (13)$$

После преобразования:

$$W_{\text{н.пер}}(p) = 0,8 \times \frac{10p+1}{10p}. \quad (14)$$

В программном пакете Matlab строим АФХ объекта без учета запаздывания (рис. 2).

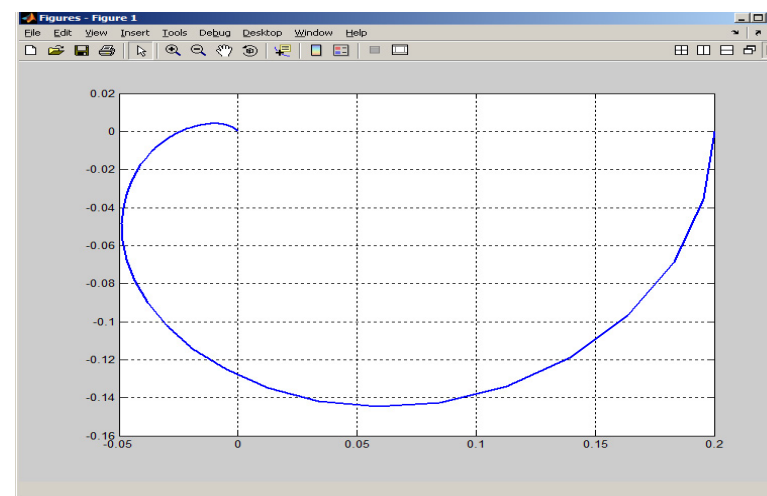


Рисунок 2 – АФХ объекта без учета запаздывания

Определение реальной устойчивости объекта по АФХ сложнее, чем по логарифмическим АЧХ и ФЧХ (диаграмме Бode) полной системы с регулятором. Поэтому, в моделирующем комплексе Simulink программного пакета Matlab строим модель разомкнутой системы. ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы приведены на рис. 3. По диаграмме видно, что, при коэффициенте передачи равном единице (где ЛАЧХ пересекает нулевую линию), соответствующая точка на ЛФЧХ находится на уровне менее  $-110^\circ$ . Т.е. запас по фазе разомкнутой системы с ПИ-регулятором составляет около  $77^\circ$  при наличии в системе транспортного запаздывания величиной 5 секунд. Замкнем систему и получим график переходного процесса. Общий вид модели замкнутой системы автоматического регулирования (САР) разряжения перед ШБМ представлен на рис. 4. График переходного процесса представлен на рис. 5. На графике видно небольшое перерегулирование, порядка 15 %, обусловленное скачком задания. Длительность переходного процесса 127 с, при этом, зона установившегося значения в Simulink, по умолчанию,  $\pm 2,5\%$ , в отличие от принятых в отечественной практике  $\pm 5\%$ . В зону  $\pm 5\%$  график входит менее, чем за 90 с.

Таким образом, показатели качества САР разряжения перед ШБМ более чем приемлемые.

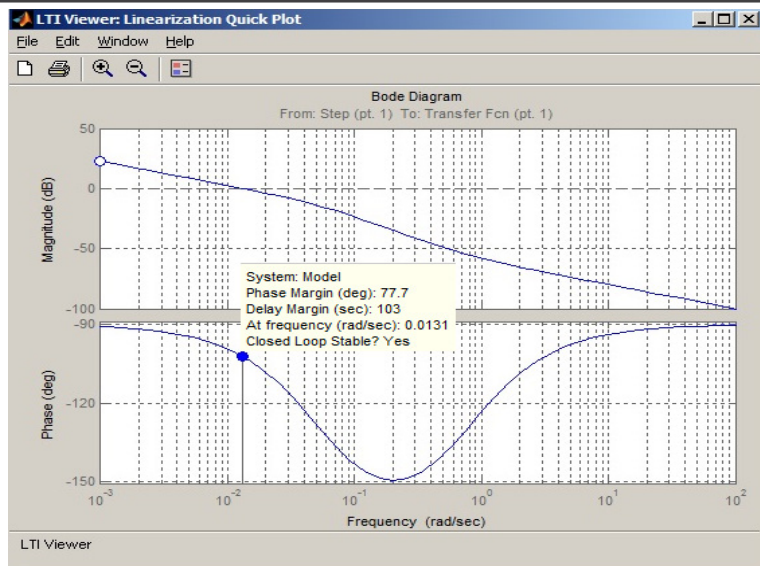


Рисунок 3 – ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы (диаграмма Бode)

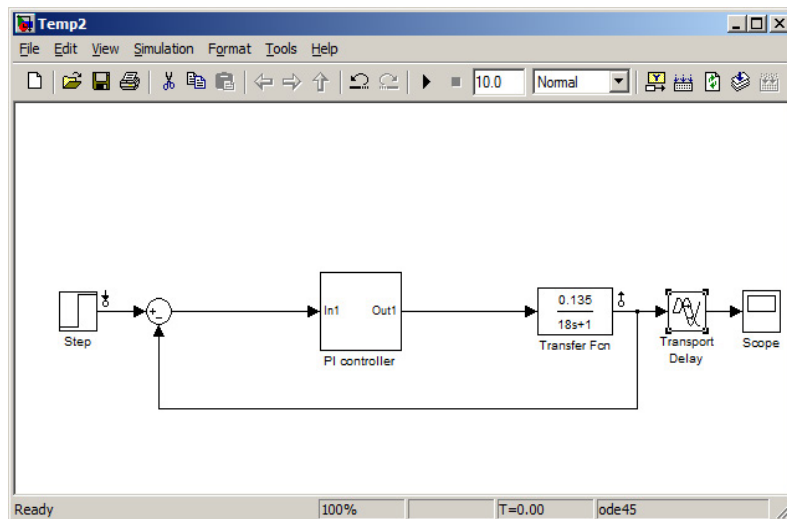


Рисунок 4 – Общий вид модели замкнутой САР разрядки перед ШБМ

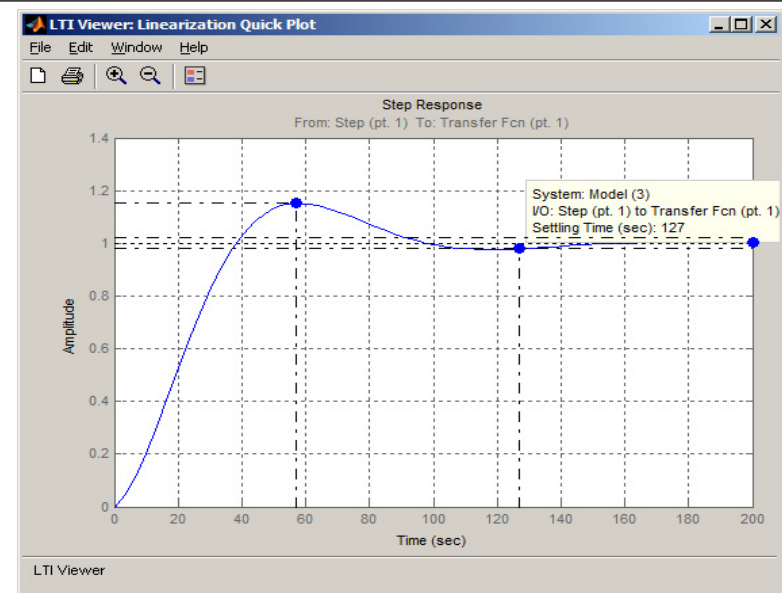


Рисунок 5 – График переходного процесса САР разрядки перед ШБМ

## Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что определение динамических параметров объекта регулирования позволяет моделировать объект только апериодическим звеном первого порядка. Определение реальной устойчивости объекта по АФХ сложнее, чем по логарифмическим АЧХ и ФЧХ (диаграмме Бode) полной системы с регулятором. Поэтому, в моделирующем комплексе Simulink программного пакета Matlab построена модель разомкнутой системы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шувалов, С. И. Повышение производительности пылесистем с шаровыми барабанными мельницами путем просеивания возврата [Текст] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 4. – С. 65–68.

2 Тверской, Д. Ю. Разработка и исследование динамических моделей пылесистем прямого вдувания для автоматизации тепловых электростанций: дис. ... канд. тех. наук: защищена 18.09.09; утв. 06.08.09 [Текст] – Иваново, – 2009 – 186 с.

3 **Улитенко, К. Я. Попов В. П.** Автоматическая защита барабанных мельниц от перегрузок [Текст] // Обогащение руд. № 2 – 2004.

4 **Плетнев, Г. П.** Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов [Текст]. – М.: МЭИ, 2016. – 352 с.

5 **Бородин, И. Ф.** Автоматизация технологического процесса и системы управления. Учебник и учеб. пособия для средних учеб. заведений [Текст]. – М.: Колос, 2006. – 352 с.

6 **Лазарева, Т. Я. Мартемьянов Ю. Ф.** Основы теории автоматического управления: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст]. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 352 с.

7 **Хзмалян, Д. М. Каган Я.А.** Теория горения и топочные устройства [Текст]. – Москва: Энергия, 1976. – 484 с.

8 **Плетнев, Г. П.** Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов [Текст]. – М.: МЭИ, 2016. – 352 с.

9 Методические указания по объему технологических измерений, сигнализации, автоматического регулирования на тепловых станциях [Текст]. СО 34.35.101 – М.: Введ. 01.09.2004.

10 **Камарова, С. Н., Абильдинова, С. К.** Разработка энергоэффективной схемы пылеприготовительной установки ТЭЦ-2 АО «АМТ» [Текст]. Международная научно-техническая конференция «Энергоэффективность - Основа развития энергетики Узбекистана» 21–22 декабря 2018 г.

## REFERENCES

1 **Shuvalov, S. I.** Povyshenie proizvoditelnosti pylesistem s sharovymi barabannymi melnitsami putem proseivaniya vozvrata [Improving the performance of ball mill vacuum systems by filtering the return] [Text] // Energy saving and water treatment. – 2007. - № 4. – P. 65–68.

2 **Tverskoj, D. YU.** Razrabotka i issledovanie dinamicheskikh modelej pylesistem pryamogo vduvaniya dlya avtomatizacii teplovykh elektrostancij [Development and research of dynamic models of direct injection vacuum systems for automation of thermal power plants: dis. ... candidate of technical Sciences: protected 18.09.09: approved 06.08.09] [Text]. Ivanovo, – 2009 – 186 p.

3 **Ulitenko, K. YA.** Popov V. P. Avtomaticheskaya zashchita barabannykh melnits ot peregruzok [Automatic protection of drum mills from overloads] [Text] // Ore dressing. № 2 – 2004.

4 **Pletnev, G. P.** Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv v teploenergetike: uchebnik dlya studentov vuzov [Automation of technological

processes and production in thermal power engineering: textbook for university students] [Text]. – М.: MEI, 2016. – 352 p.

5 **Borodin, I. F.** Avtomatizatsiya tekhnologicheskogo protsesssa i sistemy upravleniya. Uchebnik i ucheb. posobiya dlya srednikh ucheb. zavedenij [Automation of the technological process and control systems. Textbook and studies. manuals for secondary studies. Institutions] [Text]. – Moscow : Kolos, 2006. – 352 p.

6 **Lazareva, T. YA. Martemyanov YU. F.** Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya: uchebnoe posobie. 2-e izd., pererab. i dop. [Fundamentals of the theory of automatic control: textbook. 2nd edition, revised and expanded] [Text]. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2004. – 352 p.

7 **Hzmalyan, D. M. Kagan YA. A.** Teoriya goreniiya i topochnye ustrojstva [Theory of combustion and combustion devices] [Text]. – Moscow: Energy, 1976. – 484 p.

8 **Pletnev, G. P.** Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv v teploenergetike: uchebnik dlya studentov vuzov [Guidelines for the scope of technological measurements, signaling, automatic control at thermal power plants] [Text]. – Moscow : MPEI, 2016. – 352 p.

9 Metodicheskie ukazaniya po ob’emu tekhnologicheskikh izmerenij, signalizatsii, avtomaticheskogo regulirovaniya na teplovykh stantsiyakh [Guidelines for the scope of technological measurements, signaling, automatic control at thermal power plants] [Text]. SO 34.35.101 – Moscow: introduced. 01.09.2004.

10 **Kamarova, S. N., Abil’dinova, S. K.** Razrabotka energoeffektivnoj skhemy pyleprigotovitel’noj ustanovki TEC–2 АО «АМТ» [Development of an energy-efficient scheme for a pulverizing plant at CHP-2 of AMT JSC] [Text]. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Energoeffektivnost’ - Osнова razvitiya energetiki Uzbekistana» 21–22 dekabrta 2018.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*С. Н. Камарова<sup>1</sup>, О. Н. Опищенко<sup>2</sup>, Г. Г. Жабалова<sup>3</sup>,  
О. Н. Леликова<sup>4</sup>, С. К. Абильдинова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Қарағанды индустриалды университеті,  
Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

<sup>5</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.  
Материал баспаға 15.12.22 түсті.

**АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ СИРЕТУ «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМІРТАУ»**

**АҚ ЖЭО-2 ШАРЛЫ БАРАБАН ДИІРМЕНІ**

Бұл мақалада «АрселорМиттал Теміртау» АҚ (АМТ) ЖЭО-2 шаң дайындаудың технологиялық процесін басқарудың автоматты жүйесі (ТП АБЖ) ұсынылған, ол шаң жүйесі жабдығының жұмыс режимін бақылауға, процестің барысы туралы ақпаратты жинауға және өңдеуге, шаң жүйесінің ең жоғары үнемділігімен қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ететін берілген параметрлерді қолдауға, сондай-ақ шаң жүйесіне әсер етуді басқарушыларды беруге мүмкіндік береді. қабылданған басқару критерийіне сәйкес технологиялық процесс. «АМТ» АҚ ЖЭО-2 шаң дайындаудың автоматты басқару жүйесінің (АБЖ) схемасын әзірлеу үшін қатты отынды оңтайлы ұнтақтауды қамтамасыз ету үшін жылу-техникалық жабдықтың жұмыс режимдерін, сондай-ақ бақылау, басқару және сигнал беру параметрлерін анықтау қажет. «АМТ» АҚ ЖЭО-2 шаң жүйесін басқару объектісі шарлы барабан диірмені (ШБМ), ал процесс - қатты отынды ұнтақтау болып табылады. Элементтер (АБЖ ТП) – «объект және реттеуші құрылғы». Мақалада реттеу объектісінің динамикалық параметрлерін анықтау мақсатында ЖЭО-2 жағдайында шарлы барабан диірменінің сиретуін автоматты реттеу ұсынылған. Бұл реттеу объектісінің динамикалық параметрлерін анықтауға, сондай-ақ объектіні модельдеуге мүмкіндік береді. Matlab бағдарламалық пакетінің Simulink модельдеу кешенінде Ашық жүйенің моделі салынған. Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

Кілтті сөздер: шарлы барабан диірмені, автоматты жүйе, реттеу объектісі, жиілік сипаттамалары, реттегіш.

\*S. N. Kamarova<sup>1</sup>, O. N. Onichshenko<sup>2</sup>, G. G. Zhabalova<sup>3</sup>,  
O. N. Lelikova<sup>4</sup>, S. K. Abildinova<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau

<sup>5</sup>Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeev,  
Republic of Kazakhstan, Almaty

Material received on 15.12.22

**AUTOMATIC DISCHARGE REGULATION BALL DRUM MILL CHP-2  
JSC «ARCELORMITTAL TEMIRTAU»**

*This article presents an automatic process control system (automated process control System) for dust preparation of CHP-2 JSC «ArcelorMittal*

*Temirtau» (AMT), which will allow you to control the operating mode of the vacuum system equipment, collect and process information about the process, maintain the set parameters that ensure the safe operation of the vacuum system at its maximum efficiency, as well as issue control effects on the technological process in accordance with the accepted management criterion. To develop the scheme of the automatic control system (ACS) for dust preparation of CHP-2 JSC «AMT», it is necessary to determine the operating modes of thermal equipment to ensure optimal grinding of solid fuel, as well as the parameters of monitoring, control and alarm. The object of control of the TPP-2 vacuum system of JSC «AMT» is a shorobarabannaya mill (SBM), and the process is the grinding of solid fuel. The elements (automated control system) are the «object and regulating device». The article presents the automatic regulation of the vacuum of a ball drum mill in the conditions of CHP-2, in order to determine the dynamic parameters of the object of regulation. This will allow you to determine the dynamic parameters of the regulated object, as well as simulate the object. In the Simulink modeling complex of the Matlab software package, an open-loop system model is built.*

*Keywords: ball drum mill, automatic system, the object of regulation, frequency characteristics, regulator.*

[doi.org/10.48081/NBMO7530](https://doi.org/10.48081/NBMO7530)

\***Б. Т. Керімхан<sup>1</sup>, А. К. Жумадиллаева<sup>1</sup>, А. М. Недзьведь<sup>2</sup>**  
**М. Т. Ильясова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
 Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Беларусь мемлекеттік университеті, Беларусь Республикасы, Минск қ.

## **ДИНАМИКАЛЫҚ ОБЪЕКТИЛЕРДІҢ ҚОЗҒАЛЫС КАРТАЛАРЫ ЖӘНЕ ОРЫНДАЛАТЫН ӘРЕКЕТТЕРІ**

*Объектіні бақылау кезінде динамиканы толығырақ зерттеуге мүмкіндік беретін бақылау және талдау үшін ұзақ уақыт диапазонындағы жүйелерде кескіндерді дәйекті жазу болып табылатын көп уақытты түсіру маңызды. Кескіндер тізбегін тайм-лапс кескіндерінің бір түрі ретінде қарастыруға болады. Оның артықшылықтарына жоғары уақытша ажыратымдылық және ұзақ уақыт бойы түсіруді біріктіру мүмкіндігі жатады. Бейне кескіндер нысандардың пішіні мен қозғалыстығының, сондай-ақ олардың кескіндерінің жарықтығындағы өзгерістерді кадр бойынша жазуға мүмкіндік береді.*

*Динамикалық сипаттамалар бірнеше кадрларды талдау негізінде анықталады, бір-бірімен өзара әрекеттесуін анықтайды. Объектінің әрекетін сипаттайды.*

*Көп уақыттық спутниктік кескіндегі өзгерістердің негізгі элементтері және олардың динамикалық объектілер үшін негізгі жиынтықтары тұжырымдалады және анықталады, олар үшін динамикалық объектіні қозғалыс аймағы ретінде анықтайтын негізгі сипаттамалар анықталады. Мұндай объектілік тәуелділіктер тек объектілер мен олардың динамикалық топтары арасында мұра болып қалмайды. Мұндай жағдай үшін өзгерістер ағынында болып жатқан процестерді формализациялау негізінде спутниктік суреттердің көп уақыттық тізбегі бойынша динамикалық объектілер тұжырымдамасы әзірленді. Динамикалық топтан динамикалық объектіні таңдау үшін объект ортасының сипаттамаларын талдау негізінде арнайы әдістеме әзірленген. Көрсетілген ауқымдардағы ұқсас сипаттамалары бар нысандар динамикалық топтарға*

*біріктірілген. Мұндай топқа мониторинг жүргізіледі. Осылайша, мониторинг кескіндер емес, объектілер жиынтығының қозғалысын бақылау ретінде жүзеге асырылады.*

*Кілтті сөздер: Объектілерді динамикалық талдау, динамикалық объектілер, қозғалыс түрлері, гарыштық кескіндер, әдістер.*

### **Кіріспе**

Спутниктік суреттердің таралуы көп уақытты бейнелерді бақылау арқылы оқиғаларды басқару және түсіну мүмкіндігін түбегейлі өзгертті. Бұл көлік пен дақылдардың шығуын жоспарлы бақылаудан бастап табиғи апаттар кезінде ресурстарды жұмылдыруға және жаһандық жылыну салдарын бағалауға дейінгі көптеген күрделі міндеттерді орындауға мүмкіндік берді. Мониторингтің барлық түрлері көп уақытты бейнелерді талдауға негізделген, ол келесі ең ақпараттық сипаттамаларды анықтауға негізделген: түс, объектінің тығыздығы, қозғалғыштығы, объект құрылымы. Талдау процесінің өзі мынадай сипаттамаларға ие: алгоритмдік күрделілік, есептеу күрделілігі, өңделетін деректер көлемі, іске асыру кадамдарының саны және күтілетін нәтижелер саны. Ең үлкен қиындықтар жылжымалы ішкі құрылыммен сипатталатын объектілерді немесе олардың агрегаттарын талдауда туындайды. Мұндай динамикалық объектілердің қозғалысын сипаттау кезінде пішіннің өзгеруін, құрамдас бөліктердің қозғалысын, олардың бөлінуін және біріктірілуін ескеру қажет.

### **Материалдар мен тәсілдер**

Классикалық оптикалық ағын идеясының дамуы интегралды оптикалық ағын болып табылады. Интегралды оптикалық ағын – оптикалық ағынның векторларының бірнеше кейінгі кадрларда жинақталуы. Осындай жинақтау нәтижесінде фондық орын ауыстыру векторларының пайда болған амплитудаларының азаюы және алдыңғы қатардағы объектілердің орын ауыстыру векторларының пайда болған амплитудаларының жоғарылауы байқалады. Осылайша, фондық қозғалыстың ретсіз сипатын ашып, объектінің қозғалысын анықтауға мүмкіндік туады [1].

Әрбір кескін пикселі үшін интегралды оптикалық ағын бейне тізбегінің берілген фрагменті бойынша оптикалық ағын мәндерін біріктіру нәтижесінде қалыптасады [3]:

$$IOF_t^{itv}(p) = \sum_{i=0}^{itv-1} OF_{t+i}(p_{t+i}),$$

мұндағы  $OF_t - I$  бейне тізбегі үшін классикалық оптикалық ағын,  $IOF_t^{iv}$  интегралды оптикалық ағын,  $itv$  – интегралды оптикалық ағынды есептеу интервалы,  $p_{t+1} - I_t(p)$  пикселінің  $t+1$  бетіндегі орны. Бейне тізбегінің 1-ші кадры  $I$ . Бұл жағдайда,  $I_t(p)$ ,  $I_{t+1}(p_{t+1}) \dots I_{t+itv-1}(p_{t+itv-1})$   $p$  түйініндегі бірдей  $I_t(p)$  пикселін көрсетеді. әр түрлі уақытта,  $p$  үшін  $x$ -компонентінің және  $y$ -компоненттерінің мәндері бүтін сандар.

Осылайша,  $IOF_t^{iv}$  – бұл  $itv$  уақыт кезеңі үшін  $I_t$  кадрынан реттік пикселдердің орын ауыстыруы туралы деректерді жинақтайтын векторлық өріс.

Болашақта интегралды оптикалық ағынды есептеуде фондық қозғалысты шектеу және алдыңғы қатардағы объектілердің қозғалысын күшейту шекті сегментацияны пайдалана отырып, алдыңғы жоспар аймақтарын таңдауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда ығысу векторының жеткілікті үлкен мәні бар кез келген пиксел алдыңғы қатардағы пиксел ретінде қабылданады [2].

Қозғалыс карталарын құру үшін біз  $p_i$  пиксель  $p_i$  ( $0 \leq i < n$ ) үшін тиімді қозғалыс траекториясы  $(p_0, p_1, \dots, p_{n-1})$  тұжырымдамасын енгіземіз. Тиімді траектория қозғалысты талдау үшін қандай траектория қолданылатынына байланысты қарапайым немесе интерполяцияланған қозғалыс траекториясы болып табылады.  $p_i$  ( $0 \leq i < n$ ) үшін барлық тиімді қозғалыс траекториялары тиімді пиксельдік траекториялар жиынын құрайды (ЭҚБЖ орнату) [4]. Қозғалыс карталары бейне тізбегіндегі қозғалыс түрі мен бағыттарын бөлектеу және таңдалған бағытта қозғалатын пикселдердің санын анықтау үшін қолданылады. Бұл жағдайда қозғалыс қозғалатын пикселдер өтетін барлық түйіндер үшін сипатталады. Жұмыстағы қозғалысты сипаттау үшін картаның келесі түрлері қолданылады:

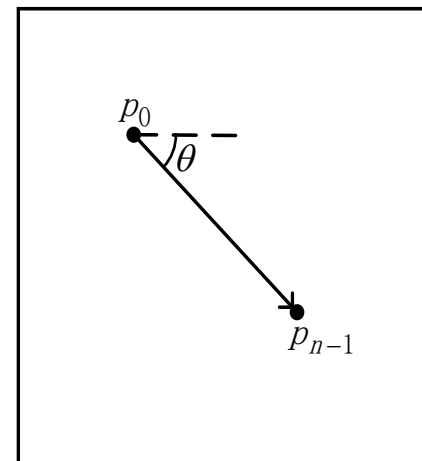
әрбір түйін үшін осы түйінге қарай жылжитын пикселдер санын анықтайтын карта пиксельдік конвергенция картасы (IQ картасы) деп аталады;

берілген түйіннен бағытта қозғалатын пиксельдер санын анықтайтын карта, пиксельдік дивергенция картасы (OQ картасы);

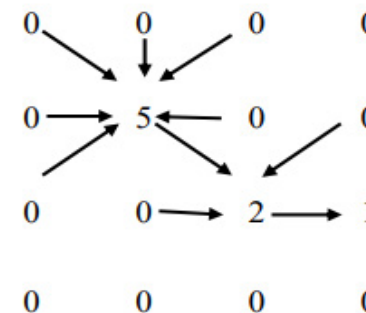
әрбір нүкте үшін нәтиже векторы анықталған, берілген түйінге қарай барлық пикселдердің қозғалыс бағытын көрсететін карта,

карта, оның әрбір нүктесі үшін берілген түйіннен барлық пикселдердің қозғалысын көрсететін нәтиже векторы анықталған,

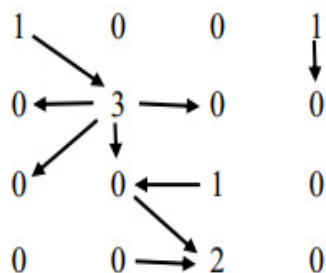
векторы пиксельдік қозғалыстың тиімді траекториясы  $(p_0, p_1, \dots, p_{n-1})$  үшін интегралды оптикалық ағынның құрамдас бөлігі болып табылады (1-сурет).



Сурет 1 – Осы траектория үшін тиімді қозғалыс  $p_0 p_{n-1}$  ( $n \geq 2$ ) және интегралды оптикалық ағын векторы



Сурет 2 – Конвергенциялық қозғалыс картасы (IQ)



Сурет 3 – Дивергенция қозғалысының картасы (OQ)

Траекторияның әрбір нүктесі үшін пикселдер санының үлесін және нәтижесінде қозғалысты анықтау үшін біз интегралды оптикалық ағынның нормаланған векторын қолданамыз, өйткені онда пикселдер саны мен олардың қозғалыс бағыты туралы деректер бар. Оптикалық ағыс векторы  $\overrightarrow{p_0 p_{n-1}}$  үшін нормаланған вектор  $\overrightarrow{v_{norm}}$  мына формуламен анықталады:

$$\overrightarrow{v_{norm}} = \frac{\overrightarrow{p_0 p_{n-1}}}{|p_0 p_{n-1}|}$$

$\theta$   $\overrightarrow{p_0 p_{n-1}}$  және  $x$  осінің арасындағы бұрыш болсын, онда нормаланған вектор:

$$\overrightarrow{v_{norm}} = (\cos\theta, \sin\theta)$$

$p_i$  ( $0 \leq i < n$ ) траекториясының әрбір нүктесі үшін келесі мәндер есептеледі [6-А]:

$$S_{in} = w_{in} \cdot |\overrightarrow{v_{norm}}|;$$

$$S_{out} = w_{out} \cdot |\overrightarrow{v_{norm}}|;$$

$$\overrightarrow{v_{in}} = w_{in} \cdot \overrightarrow{v_{norm}};$$

$$\overrightarrow{v_{out}} = w_{out} \cdot \overrightarrow{v_{norm}};$$

$w_{in}$ ,  $w_{out}$  – кіріс және шығыс пикселдердің санын анықтауға арналған салмақ коэффициенттері,  $w_{in} + w_{out} = 1$ . Салмақтық коэффициенттер келесідей есептеледі:

$$w_{in} = \frac{|p_0 p_i'|}{|p_0 p_{n-1}'|}$$

$$w_{out} = \frac{|p_i' p_{n-1}'|}{|p_0 p_{n-1}'|}$$

Мұндағы  $p_i'$  –  $p_0 p_{n-1}'$  түзуінің координаталық тормен қиылысу нүктесі; интерполяцияланған қозғалыс траекториясын қалыптастыру процесінде оның мәні  $p_i$ -ге дейін дөңгелектенеді.

$S_t(p)$   $t$  уақытындағы  $p$  пикселдердің тиімді траекторияларының жиыны болсын;  $IQ_t$ ,  $OQ_t$ ,  $ICM_t$  және  $OCM_t$  сәйкесінше  $I_t$  кадрына арналған  $IQ$ ,  $OQ$ ,  $ICM$  және  $OCM$  карталары болып табылады, содан кейін бұл карталардағы пиксель  $p$  үшін мәндер болады [6–7]:

$$IQ_t(p) = \sum_{a \in S_t(p)} S_{in}(\theta, p),$$

$$OQ_t(p) = \sum_{a \in S_t(p)} S_{out}(\theta, p),$$

$$OCM_t(p) = \sum_{a \in S_t(p)} S_{out}(\theta, p),$$

$$ICM_t(p) = \sum_{a \in S_t(p)} \overrightarrow{v_{in}}(\theta, p),$$

$$OCM_t(p) = \sum_{a \in S_t(p)} \overrightarrow{v_{out}}(\theta, p),$$

мұндағы  $S_m(\theta, p)$ ,  $S_{out}(\theta, p)$ ,  $\overline{v}_{in}(\theta, p)$ ,  $\overline{v}_{out}(\theta, p)$  жоғарыдағы формулалар арқылы есептеледі.

Ұсынылған төрт қозғалыс картасын ескере отырып, пиксель қозғалысының келесі сипаттамаларын есептеуге болады:

IQ картасындағы максималды мәндер ең көп пикселдер саны қозғалатын түйіндерге сәйкес келеді;

OQ картасындағы максималды мәндер пикселдердің ең көп саны қозғалатын бағыттағы түйіндерге сәйкес келеді;

ICM картасындағы ең төменгі мәндер пикселдердің қозғалысы ең симметриялы болып табылатын түйіндерге сәйкес келеді;

OSM картасындағы ең төменгі мәндер нүктелерге сәйкес келеді, олардан пикселдердің жойылуы ең симметриялы болып табылады.

Тиісінше, IQ карталарындағы үлкен мәндері бар нүктелер және ICM карталарындағы векторлардың абсолютті мәндерінің шағын мәндері пиксельді біріктіру орталықтарына сәйкес келеді; OQ карталарындағы үлкен мәндерге сәйкес келетін нүктелер және OSM карталарындағы векторлардың шағын амплитудалары пикселдердің шашырау орталықтарына сәйкес келеді.

Объектілер жиынының қозғалысын сипаттау тек пиксель деңгейінде ғана емес, сонымен қатар аумақ деңгейінде де орындалуы мүмкін [8-9]. Аймақтағы қозғалысты сипаттауға мүмкіндік беретін сипаттамалар - қозғалыс бағыты, қозғалыс жылдамдығы және оның негізінде анықталған аймақтағы қозғалыс қарқындылығы. Қозғалыс бағыты нысанның қозғалатын аймағын көрсетеді. Берілген аумақтағы қозғалыс бағытын анықтау үшін  $[0, 2\pi)$  кесіндісін бірнеше тең аралықтарға бөлуге және әрбір интервал үшін қозғалатын пикселдердің санын есептеуге болады. Ең көп пиксельдер саны бар интервал қозғалыстың негізгі бағытына сәйкес келеді.

t-ден t+itv -ге дейінгі уақыт аралығындағы пиксель қозғалысының жылдамдығын орын ауыстыру модулі негізінде анықтауға болады:

$$s_t^{itv}(p) = \frac{|IOF_t^{itv}(p)|}{itv}$$

t уақытындағы r ауданы үшін қозғалыс қарқындылығы мынаған тең болады:

$$MI_t^{itv}(r) = \frac{1}{N} \sum_{p \in r} s_t^{itv}(p)$$

мұндағы N – r аймағындағы түйіндер саны, p – r аймағындағы жалғыз түйін. Содан кейін объектілердің ауыр қозғалыс аймағын табу үшін шекті сегменттеу орындалады.

IQ және OQ карталары белгілі бір аймаққа кіретін және одан шығатын пикселдер санын анықтау үшін қолданылады. Ол үшін келесі қосымша сипаттамаларды қолдануға болады: аймаққа кіретін пикселдердің салыстырмалы саны және одан шығатын пикселдердің салыстырмалы саны [10–11].

$IRQ_t(r)$  аймағына енгізілген пикселдердің салыстырмалы саны осы аймақ үшін IQ картасындағы орташа мәнге тең.  $ORQ_t(r)$  аймағынан шығатын пикселдердің салыстырмалы саны берілген аймақ үшін OQ картасындағы орташа мәнге тең. r аймағы және оның жақтауы үшін бұл мәндер келесідей есептеледі:

$$IRQ_t(r) = \frac{1}{N} \sum_{p \in r} IQ_t(p);$$

$$ORQ_t(r) = \frac{1}{N} \sum_{p \in r} OQ_t(p)$$

мұндағы N – r, аймақтағы түйіндердің саны  $IQ_t(p)$ ,  $OQ_t(p)$  –  $I_t$  кадрындағы p түйіні үшін IQ және OQ карталарындағы мәндер.  $IRQ_t(r)$  мен  $ORQ_t(r)$ , салыстыру арқылы облысқа кіретін және шығатын пикселдер санын салыстыруға болады, бұл объектілердің біріктіру немесе шашырау оқиғасының пайда болуын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл үшін сандық сипаттама ретінде мына қатынасқа тең  $IOI_t$ , ауданының салыстырмалы коэффициентін қолдануға болады:

$$IOI_t(r) = \frac{IRQ_t(r)}{ORQ_t(r)}$$

мұндағы r – белгілі бір аймақ,  $IOI_t(r)$  – жақтау үшін r аймағынан өтетін пикселдер санының салыстырмалы қатынасы. Егер  $IOI_t(r) > 1$  болса, r аймағынан шыққанға қарағанда көбірек пиксельдер енеді, ал  $IOI_t(r) < 1$  r аймағынан көбірек пикселдер шығады дегенді білдіреді.

Бұл жағдайда келесі теңсіздіктер орындалады:  $\frac{IQ_t(p)}{|ICM_t(p)|} \geq 1$  және  $\frac{OQ_t(p)}{|OSM_t(p)|} \geq 1$ . Теңдік белгісі пикселдер бір бағытта қозғалғанда қолданылады. Қозғалыс неғұрлым симметриялы болса, теңдеудің сол жағындағы мән соғұрлым үлкен болады.

Пиксельдер қозғалысының симметрия дәрежесін анықтау үшін аймақта симметрия коэффициенттерін қосымша пайдалануға болады. Кіріс пикселдеріне арналған аймақтың симметрия коэффициенті  $IS_t(r)$  кіріс пикселдерінің салыстырмалы санының  $IRQ_t(r)$ , ICM картасындағы сол аймақтың орташа мәніне бөлінгеніне тең [6]:



$$IS_t(r) = \frac{IRQ_t(r)}{\left| \frac{1}{N} \sum_{p \in r} ICM_t(p) \right|}$$

мұндағы  $N$  – жақтау үшін  $r$  аймағындағы түйіндер саны.

Сол сияқты,  $OS_t(r)$  шығыс пикселдері үшін аймақ симметрия коэффициентін келесідей анықтауға болады [13]:

$$OS_t(r) = \frac{ORQ_t(r)}{\left| \frac{1}{N} \sum_{p \in r} OCM_t(p) \right|}$$

мұндағы  $N$  – кадр  $I_t$  үшін  $r$  аймағындағы түйіндер саны,  $I_t$ ,  $ORQ_t(r)$  – аймақтан шығатын пикселдердің салыстырмалы саны,  $\left| \frac{1}{N} \sum_{p \in r} OCM_t(p) \right|$  OCM картасындағы  $r$  аймағының орташа мәні.

$IS_t(r) \geq 1$  және  $OS_t(r) \geq 1$  және теңдік белгісі пикселдер дәл бір бағытта қозғалғанда қойылады.  $IS_t(r)$  және  $OS_t(r)$  коэффициенттерінің мәндері қозғалыс симметриясының жоғарылауымен өседі [6].

#### Қорытынды

Қашықтықтан зондтауда қозғалатын объектілерді талдау негізінде кескін фрагменттерінің қозғалысының параметрлеріне сәйкес келетін өзгерістердің негізгі элементтері тұжырымдалады және анықталады. Бұл негізгі жиындар өзгерістерді динамикалық нысандар ретінде анықтайды. Бұл жағдайда кескінді өзгертудің негізгі сипаттамалары динамикалық объектіні тек объектілер мен олардың динамикалық топтары арасында мұра болып қалмайтын қозғалыс аймағы ретінде анықтайды.

Динамикалық объектілер түсінігі кескіндер тізбегінде болып жатқан процестерді формализациялаудың негізі болып табылады, ол уақыт өте тұрақты болып қалатын кейбір жалпы қасиеттермен байланысты пикселдер тобы ретінде анықталатын динамикалық объект ұғымы.

Қашықтықтан зондтау кескіндері үшін бұл топтарға бірдей өзгерістер жиыны бар нысандар кіреді, мысалы, су объектілері, қалалық ғимараттардың әртүрлі типтері немесе ауыл шаруашылығы алқаптары үшін бөлек динамикалық топтар жасауға болады.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Firago, V. A.** et al. Determination of blood flow velocity in vessels of the bulbar conjunctiva //Przełąd Elektrotechniczny. – 2016. – Т. 8. – №. 92. – С. 105–108.

2 **Al-Bayati, A. N.** Adaptive algorithm for image contrast estimation //AL-TAQANI. – 2007. – Т. 20. – №. 1. – С. 52–61.

3 **Liu, X.** et al. Advances in deep learning-based medical image analysis // Health Data Science. – 2021. – Т. 2021.

4 **Nedzved, A.** et al. Detection of dynamical properties of flow in an eye vessels by video sequences analysis //2017 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT). – IEEE, 2017. – С. 275–280.

5 **Chen, C.** et al. Determination of blood flow characteristics in eye vessels in video sequence //Informatica. – 2019. – Т. 43. – №. 4.

6 **Lakshminarayanan, V.** et al. Automated detection and diagnosis of diabetic retinopathy: A comprehensive survey //Journal of Imaging. – 2021. – Т. 7. – №. 9. – С. 165.

7 **Winder, R. J.** et al. Algorithms for digital image processing in diabetic retinopathy //Computerized medical imaging and graphics. – 2009. – Т. 33. – №. 8. – С. 608-622.

8 **Felkel, P., Wegenkittl, R., Kanitsar, A.** Vessel tracking in peripheral CTA datasets-an overview //Proceedings Spring Conference on Computer Graphics. – IEEE, 2001. – С. 232–239.

9 **Bühler, K., Felkel, P., Cruz, A. L.** Geometric methods for vessel visualization and quantification—a survey //Geometric modeling for scientific visualization. – 2004. – С. 399-419.

10 **Anbarjafari, G.** HSI based colour image equalization using iterative nth root and nth power //arXiv preprint arXiv:1501.00108. – 2014.

11 **Van Vliet, S., Sobiecki, A., Telea, A. C.** Joint Brightness and Tone Stabilization of Capsule Endoscopy Videos //VISIGRAPP (4: VISAPP). – 2018. – С. 101–112.

12 **Kirbas, C., Quek, F.** A review of vessel extraction techniques and algorithms //ACM Computing Surveys (CSUR). – 2004. – Т. 36. – №. 2. – С. 81–121.

13 **Farneback, G.** Two-frame motion estimation based on polynomial expansion //Scandinavian conference on Image analysis. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. – С. 363–370.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

\**Б. Т. Керімхан<sup>1</sup>, А. К. Жумадиллаева<sup>1</sup>,  
А. М. Недзьведь<sup>2</sup> М. Т. Ильясова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Қазақстан, г. Астана.

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Республика Беларусь, г. Минск.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

## КАРТЫ ДВИЖЕНИЯ И ДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

*При мониторинге объекта важное значение имеет разновременная съемка, представляющая собой последовательную запись изображений в системах длительного временного диапазона для наблюдения и анализа, что дает возможность более детально изучить динамику. Последовательность изображений можно рассматривать как одну из разновидностей покадровой изображений. В число ее преимуществ входят высокое временное разрешение и возможность комбинации съемки в течение длительного времени. Видеоизображения позволяют получить покадровую запись изменений формы и подвижности объектов, а также яркости их изображений.*

*Динамические характеристики выявляются на основе анализа нескольких кадров, определяет взаимодействий друг с другом. Описывает поведения объекта.*

*Сформулированы и определены основные элементы изменений на разновременном космическом снимке и их базовые наборы для динамических объектов, для которых определены основные характеристики, определяющие динамический объект как область движения. Такие зависимости объектов наследуются не только между объектами и их динамическими группами. Для такого случая разработана концепция динамических объектов на разновременной последовательности космических снимков на основе формализации процессов, происходящих на потоке изменений. Для выбора динамического объекта из динамической группы разработана специальная методика, основанная на анализе характеристик среды объекта. Объекты со схожими характеристиками, находящиеся в заданных диапазонах, объединяются в динамические группы. Мониторинг осуществляется для такой группы. Таким образом, мониторинг осуществляется как контроль за движением множества объектов, а не изображений.*

*Ключевые слова: динамический анализ объектов, динамические объекты, виды движения, космические снимки, методы.*

\*B. T. Kerimkhan<sup>1</sup>, A. K. Zhumadillayeva<sup>1</sup>, A. M. Nedzvedz<sup>2</sup>, M. T. Piyasova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eurasian national university after L. N. Gumilyov, Republic of Kazakhstan, Astana.

<sup>2</sup>Belarussian state university, Republic of Belarus, Minsk.

Material received on 15.12.22

## MOVEMENT MAP AND ACTIONS OF DYNAMIC OBJECTS

*When monitoring an object, multi-temporal shooting is important, which is a sequential recording of images in systems of a long time range for observation and analysis, which makes it possible to study the dynamics in more detail. The sequence of images can be considered as one of the varieties of time-lapse images.*

*Its advantages include high temporal resolution and the ability to combine shooting over long periods of time. Video images allow you to get a frame-by-frame recording of changes in the shape and mobility of objects, as well as the brightness of their images.*

*Dynamic characteristics are found out on the basis of the analysis of several frames, determines the interactions with each other. Describes the behavior of an object.*

*Basic elements of changes on multi-temporal satellite image and their basic sets for dynamic objects are formulated and defined, for which the main characteristics that define the dynamic object as an area of motion. Such dependents of objects are inherited not only between objects and their dynamic groups. For such case, the concept of dynamic objects on a multi-temporal sequence of satellite image has been developed based on the formalization of processes occurring on a changes stream. To select a dynamic object from a dynamic group, the specific methodology has been developed that based on the analysis of the characteristics of the object's environment. Objects with similar characteristics which are in specified ranges are combined into dynamic groups. The monitoring is performed for the such group. Thus, monitoring is carried out as control for motion of many objects, rather than images.*

*Keywords: dynamic analysis of objects, dynamic objects, types of movement, space images, methods.*

[doi.org/10.48081/SHLJ4849](https://doi.org/10.48081/SHLJ4849)**\*М. Я. Клецель<sup>1</sup>, А.С. Барукин<sup>2</sup>, Б. Е. Машрапов<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ГЕРКОНОВ ВБЛИЗИ ШИН ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Отмечается, что использование герконов позволяет решить актуальную задачу построения устройств релейной защиты без трансформаторов тока. Подчеркивается, что для их закрепления и регулирования параметров срабатывания этих устройств путем изменения положения герконов вблизи токоведущих шин необходимы специальные конструкции. Предлагаются четыре новые конструкции для крепления герконов вблизи шин переменного и постоянного тока. Первая из них отличается от известных наличием хомута, охватывающего шину, пластины, на которой закреплены n герконов и планки, скрепленной с этим хомутом; вторая – двойным ушным хомутом и двумя поворотными дугами с барабанными храповиками с герконом; третья – Г-образной пластиной с герконами и крепежными уголками; четвертая – двумя прямоугольными брусками с четырьмя сквозными отверстиями. Упоминается, что с помощью 3D-печати из пластика типа PLA был изготовлен опытный образец второй конструкции, масса и занимаемый объем которого (вместе с герконами) в 167 и 89 раз, соответственно, меньше, чем у трансформаторов тока. Отмечается, что подобные расчетные соотношения получены и для остальных конструкций. Описываются способы регулирования параметров срабатывания защит на герконах с помощью предложенных конструкций.*

*Ключевые слова: защита, геркон, конструкция, крепление, шина, токопровод.*

### **Введение**

Одним из путей решения задачи построения защит без трансформаторов тока, неоднократно называемой на сессиях СИГРЭ нерешенной проблемой мировой энергетики [1–3], может быть использование герконов. Для

закрепления и изменения положения герконов (они являются измерительными органами новых защит электроустановок от коротких замыканий) вблизи токоведущих шин необходимы специальные конструкции. Уже созданы 20 запатентованных моделей таких конструкций (например, [4, 5]). Однако работы в этом направлении не завершены, и придется создавать еще большое количество конструкций для крепления герконов, так как возможные варианты их выполнения в значительной степени зависят от расположения фаз электроустановки, её напряжения, типа распределительного устройства и исполнения токоведущих шин, вблизи которых должен быть установлен геркон. В данной работе рассматриваются разработанные авторами конструкции для крепления герконов, позволяющие сравнительно просто размещать их вблизи шин переменного и постоянного тока всех типов, и строить измерительные органы токовых защит для различных электроустановок.

### **Материалы и методы.**

Первая конструкция [6] содержит пластину 1 (рисунок 1), на поверхности 2 которой с помощью зажимов 3 закреплены n герконов 4 параллельно и на одинаковом расстоянии друг от друга. Один конец пластины 1 вклеен в прорезь планки 5, прикрепленной с помощью болта 6 к хомуту 7. Хомут 7 надет на токоведущую шину 8, установленную на изоляторах 9 внутри оболочки 10 закрытого токопровода. Пластина 1 расположена таким образом, чтобы ее поверхность 2 совпадала с плоскостью поперечного сечения шины 8. В пластине 1 проделаны 2n отверстий 11, через которые пропущены изолированные провода 12 от контактов герконов 4 на противоположную поверхность 13 пластины 1. Изолированные провода 12 с помощью хомутов 14 и 15 прикреплены к поверхности 13 пластины 1. Изолированные провода 12 через разъем 16, закрепленный на поверхности 13 пластины 1, с помощью кабеля 17 пропущены через отверстие 18 в оболочке 10 закрытого токопровода и подключены к времязадающему блоку 19. Исполнительный орган 20 входом подключен к времязадающему блоку 19, а выходом подключен в цепь отключения выключателя.

В качестве герконов 4 могут использоваться герконы типа МКА-20101. Пластина 1 и планка 5 выполнены из листового стеклотекстолита СТЭД. Времязадающий блок 19 может быть выполнен на микроконтроллере серии 51 производителя Atmel AT89S53. В качестве исполнительного органа 20 может быть использовано промежуточное реле серии РП–251.

Вторая конструкция [10] (рисунок 2) содержит два геркона 1, двойной ушной хомут 2, два одинаковых блока 3 регулировки, выполненных в виде поворотных дуг 4, соединенных с подвижной частью фиксируемых шарниров 5, которые своими неподвижными частями жестко закреплены на двойных

ушных хомутах 2. На конце каждой дуги 4 подвижно закреплен барабанный храповик 6 с откидной собачкой 7 со стопорным винтом 8. Внутри каждого храповика 6 с помощью хомута 9, фиксируемого крепежными болтами 10, закреплен геркон (не показано).

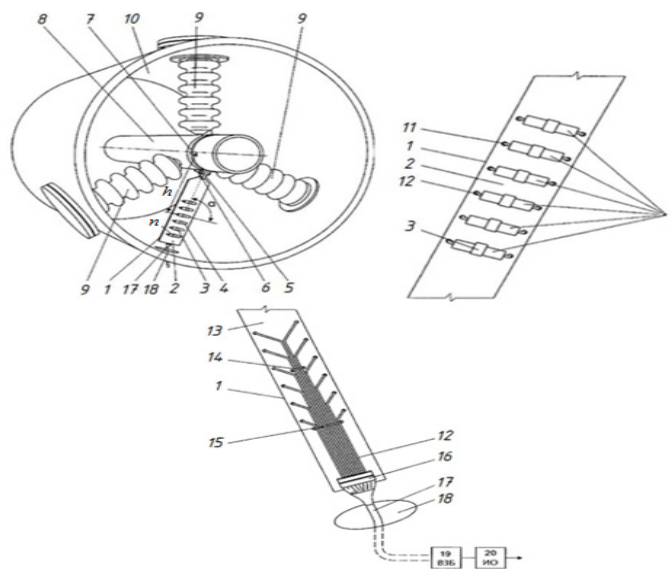


Рисунок 1 – Первая конструкция

Двойной ушной хомут 2 болтом 11 с гайкой 12 закреплен в пазу опорного изолятора, который прикреплен к токоведущей шине комплектного токопровода с оболочкой. Опытные образцы конструкций выполнены с помощью 3D-печати, а в качестве расходного материала использован пластик типа PLA. Для токопроводов напряжением 15 кВ масса предлагаемой конструкции (вместе с герконами) составит 0,15 кг, а занимаемый объем –  $0.09 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  (масса трансформатора тока и занимаемый им объем для этого напряжения равны 25 кг и  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  соответственно). Подобные цифры получены и для остальных конструкций, представленных в данной работе.

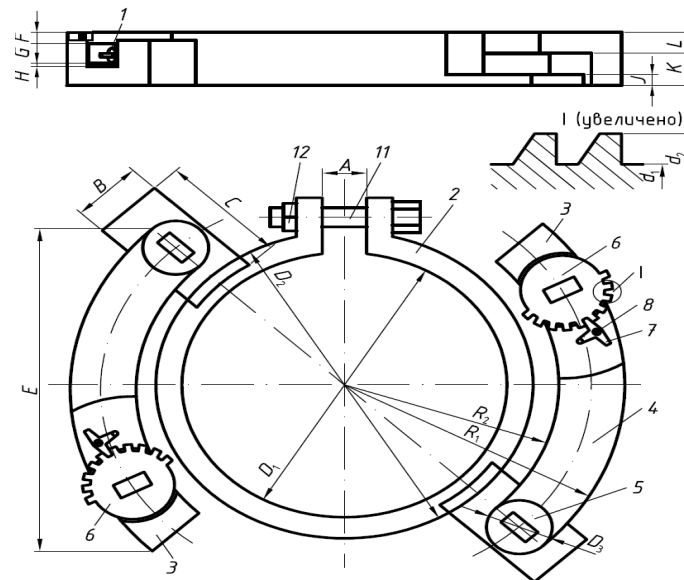


Рисунок 2 – Вторая конструкция

Для крепления герконов вблизи шин закрытых токопроводов постоянного тока может быть использована третья конструкция [11], содержащая (рисунок 3, а) Г-образную пластину 1, кабельные каналы, крышки и блок крепления, выполненный в виде крепежных уголков (не показаны). На укороченной части Г-образной пластины 1 на одинаковом расстоянии друг от друга выполнены сквозные отверстия, внутри которых закреплены герконы 2. По краям укороченной части пластины 1 с её обеих сторон сделаны выступы цилиндрической формы с резьбовыми отверстиями, на которые надеты и при помощи шурупов закреплены крышки, выполненные в форме полых прямоугольных параллелепипедов, имеющих, также, как и кабельные каналы, расположенные на их внешних сторонах, соосные с продольными осями герконов 2 сквозные отверстия, через которые пропущены изолированные провода, одним концом подключенные к контактам герконов 2, а другим концом – к клеммной колодке. На конце удлиненной части Г-образной пластины 1 с её обеих сторон при помощи шурупов закреплены уголки, обеспечивающие возможность расположения пластины 1 в магнитном поле токоведущей шины закрытого токопровода постоянного тока.

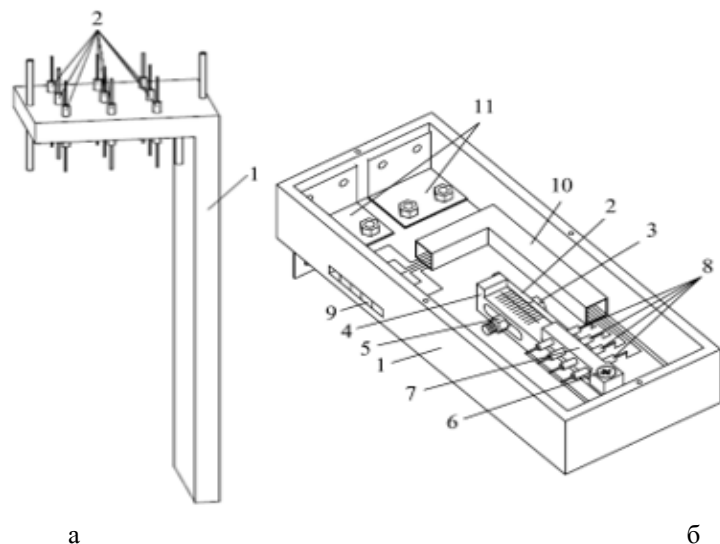


Рисунок 3 – Общий вид третьей и четвертой конструкций

Четвертая конструкция [12] содержит (рисунок 3, б): корпус 1 с крышкой, выполненный в форме параллелепипеда. В одной части корпуса 1, на его дне, выполнен выступ 2 прямоугольной формы, поперек которого выполнено отверстие, в которое вставлен регулировочный болт 3, проходящий через паз первого прямоугольного бруса 4, расположенного рядом с выступом 2. Регулировочный болт 3 зафиксирован гайкой 5. На верхнюю сторону первого бруса 4 нанесена шкала. На верхней стороне выступа 2 параллельно продольной оси его отверстия выполнена засечка для визуального определения изменения положения первого бруса 4. На первом бруске 4 с помощью шурупа 6 закреплен второй прямоугольный брус 7. С боковой стороны второго бруса 7 на одинаковом расстоянии друг от друга выполнены четыре сквозных отверстия, внутри которых параллельно друг другу закреплены четыре геркона 8.

В одной из боковых стенок корпуса 1 выполнено отверстие, внутри которого закреплена клеммная колодка 9, а вдоль второй боковой стенки в центральной части корпуса 1 закреплен кабельный канал 10, через который проходят провода, соединяющие герконы 8 с колодкой 9. В другой части корпуса 1, с внутренней и внешней стороны его дна, попарно друг с другом при помощи болтов и гаек закреплены четыре крепежных уголка 11, предназначенные для расположения предлагаемой конструкции с герконами в магнитном поле токопроводов постоянного тока – так, например, корпус

1 может быть закреплен к шине токопровода при помощи уголков 11 и струбцин, выполненных из пластика типа PLA при помощи 3D-печати. Точно так же могут быть выполнены корпус 1, кабельный канал 10, первый 4 и второй 7 брусы.

#### Результаты и обсуждение.

Устройство для максимальной токовой защиты с измерительным органом в виде первой конструкции с герконами работает следующим образом. Перед пуском защиты выбирают один из  $n$  герконов 4, по срабатыванию которого будут судить о наличии междуфазных коротких замыканий (КЗ) в конце закрытого токопровода или на отходящих от него присоединениях. Для этого определяют ток  $I_{cp}$  в токоведущей шине 8, при котором срабатывает геркон 4. Все герконы 4 закреплены на пластине 1 таким образом, что имеют максимальную чувствительность. Так, на рисунке 1 все герконы 4 расположены под углом  $\alpha = 90^\circ$ , где  $\alpha$  – угол между продольной осью геркона и перпендикулярной к ней линией, расположенной на поверхности 2, соединяющей центр тяжести геркона 4 и ось токоведущей шины 8. Поэтому значение  $I_{cp}$  определяют по известным расстоянию  $h$  (рисунок 1) до герконов 4 и магнитодвижущей силе срабатывания (м.д.с.) герконов  $F_{cp}$  по формуле [7]:

$$I_{cp} = 2\pi \frac{F_{cp} h}{l_k}, \quad (1)$$

где  $l_k$  – длина катушки соленоида, в котором измеряют м.д.с.

Стоит отметить, что для более точного расчета  $I_{cp}$  по (1) следует воспользоваться поправочными коэффициентами, приведенными в [8].

Затем проверяют возможность использования геркона 4 по выполнению неравенства [9]:

$$I_{K3, \min} \geq 1,5 I_{c3} \geq 2 I_{cp}, \quad (2)$$

где  $I_{K3, \min}$  – минимальный ток КЗ в конце защищаемого участка;  $I_{c3}$  – ток срабатывания защиты (на токопроводах собственных нужд электростанций он отстраивается от токов самозапуска электродвигателей).

Если после выбора тока срабатывания защиты  $I_{c3}$  и расчетов по формуле (1) правая часть неравенства (2) не выполняется, то нужно взять информацию от геркона 4, расположенного ближе к токоведущей шине 8, например, на расстоянии  $h$  от нее, подсчитать его ток срабатывания  $I_{cp}$  и затем проверить выполнение неравенства (2). Если оно выполняется, то устройство готово к работе.

При КЗ между фазами в конце закрытого токопровода или на отходящих от него присоединениях ток, протекающий по токоведущей шине 8, превосходит ток срабатывания защиты  $I_{сз}$ . Поэтому выбранный геркон 4 срабатывает (закрывает контакты) и по проводам 12 через разъем 16 и кабель 17 передает сигнал на времязадающий блок 19, который через заданную выдержку времени подает сигнал на вход исполнительного органа 20, с выхода которого подается сигнал на отключение повредившихся шин 8 от сети. В режимах нагрузки ток срабатывания  $I_{ср}$  больше тока нагрузки, и геркон не срабатывает. Поэтому устройство не приходит в действие.

Для срабатывания геркона, помещенного вблизи токоведущей шины с помощью второй конструкции, нужна м.д.с.  $I_{сз}$  создаваемая током с величиной  $I_{ср}$  в шине. Если геркон размещен на расстоянии  $h$  от токоведущей шины в плоскости  $N$ , параллельной шине ( $\Delta abc$  находится в плоскости  $N$ ), то в соответствии с законом Био – Савара – Лапласа:

$$I_{ср} = H_{ср} / g, \quad (3)$$

где  $I_{ср}$  и  $H_{ср}$  – минимальные значения тока в токоведущей шине и напряженности магнитного поля, создаваемого этим током, при которых геркон срабатывает ( $H_{ср}$  направлена вдоль контактов геркона);  $g$  – коэффициент, характеризующий расположение геркона относительно токоведущей шины, выражаемый через  $h$ ,  $m$ ,  $\gamma$ .

$$g = \frac{h \cos \gamma}{h^2 + m^2}, \quad (4)$$

где  $m = \sqrt{2d^2 - 2d^2 \cos \beta}$  – расстояние, на которое перемещается геркон в результате изменения положения поворотной дуги 4;  $d$  – хорда дуги;  $\beta$  – угол поворота дуги;  $\gamma$  – угол между  $m$  и продольной осью геркона.

Минимум соответствующей функции тока по (3) определяет координаты герконов, при которых они имеют максимальную чувствительность.

Регулировку  $I_{ср}$  осуществляют следующим образом. Вращением подвижной части шарнира 5 (рисунок 2), например с помощью реверсивной отвертки, выдвигаем поворотную дугу 4 из паза опорного изолятора на угол  $\beta$  в плоскости  $N$ . После выдвижения дуги 4 расположенный на ней барабанный храповик 6 оказывается в доступной для регулирования зоне. Храповик осуществляет поворот геркона 1 на расчетный угол  $\gamma$  в плоскости

$N$  после выкручивания стопорного винта 8 откидной собачки 7 (затем последнюю возвращают в исходное положение и закручивают винтом 8).

Третья конструкция может использоваться для крепления магниторезисторов вблизи шин закрытых токопроводов постоянного тока преобразовательных установок. В данной конструкции предусмотрена возможность одновременного крепления девяти датчиков магнитного поля. При выполнении схемы защиты преобразовательной установки на герконах и магниторезисторах по мажоритарному принципу это дает возможность регулирования уставки её срабатывания путем использования трех магниторезисторов, расположенных, в сравнении с другими, ближе к токоведущей шине, или, наоборот, дальше от неё. Разработанная конструкция проста и позволяет закреплять герконы или магниторезисторы вблизи шин закрытых токопроводов постоянного тока, не требуя их конструктивных изменений.

Для изменения диапазона уставок срабатывания защиты на герконах, использующей четвертую конструкцию, ослабляют крепление гайки 5, фиксирующей регулировочный болт 3, перемещают первый брус 4 в пределах длины его паза вдоль выступа 2 корпуса 1, после чего закручивают гайку 5. Изменение положения первого бруса 4 обеспечивает изменение расстояний  $h$  от шины токопровода постоянного тока до герконов 8, а следовательно, и изменение значений токов  $I_{ср}$  в ней, при которых герконы 8 будут срабатывать. Таким образом, предлагаемая конструкция позволяет повысить чувствительность защит на герконах за счет расширения диапазона их уставок срабатывания при изменении положения первого бруса 4, а также надежность срабатывания и несрабатывания – путем обеспечения точности регулирования уставок за счет контроля положения шкалы бруса 4 относительно засечки на выступе 2 корпуса 1.

### Выводы

Предложенные конструкции достаточно просты и позволяют закреплять и изменять положение герконов вблизи шин переменного и постоянного тока всех типов. Как показали предварительные расчеты, при реализации они (вместе с герконами) должны оказаться в сотни раз легче по весу и в десятки раз меньше по габаритам, чем трансформаторы тока, используемые для построения традиционных защит. Одновременное использование в этих конструкциях нескольких герконов, расположенных на разных расстояниях от шины, обеспечивает возможность регулирования параметров срабатывания защит в широком диапазоне, что в большинстве случаев позволяет повысить их чувствительность.

1 **Дьяков, А. Ф., Ишкин, В. Х., Мамиконянц, Л. Г., Семенов, В. А.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – М.: ЗАО Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», 2004. – Вып. 4–5. – 176 с.

2 **Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т.** Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского // Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем: матер. междунар. науч.-техн. конф. – М., 2009. – С. 39–48.

3 **Клецель, М. Я.** Основы построения релейной защиты на герконах // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: матер. 4-й междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2013. – С. 1–10.

4 **Kletsel, M., Berguzinov, A., Alishev, Zh., Goryunov, V.** Constructions and details for fixing magnetically operated sealed switches in the closed electrical pathways // Proc. of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2014. – P. 1–5.

5 **Kaltayev, A., Mashrapov, B., Talipov, O.** Designs for Mounting Reed Switches in Closed Complete Current Conductors and on Cable Lines // Proc. of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020. – P. 1–5.

6 **Клецель, М. Я., Бергузинов, А. Н., Ержанов, Н. Т.** Устройство для максимальной токовой защиты // Пат. 2570328 РФ МПК H02H 3/00; опубл. 10.12.2015.

7 **Клецель, М. Я., Мусин, В. В.** О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока // Электротехника. – 1987. – №4. – С. 11–13.

8 **Kletsel, M., Barukin, A., Talipov, O.** About the Biot-Savart-Laplace law and its use for calculations in high-voltage AC installations // Przegląd Elektrotechniczny, 2017. – vol. 93, № 11. – P. 129–132.

9 **Клецель, М. Я., Мусин, В. В.** Выбор тока срабатывания максимальной токовой защиты без трансформаторов тока на герконах // Промышленная энергетика. – 1990. – №4. – С. 32–36.

10 **Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Калтаев, А. Г.** Измерительный орган для токовой защиты электроустановки с опорными изоляторами // Пат. 32006 РК МПК H02H 3/08; опубл. 14.04.2017.

11 **Барукин, А. С.** Устройство для крепления герконов защит высоковольтных электроустановок // Пат. 32645 РК МПК H02H 3/08; опубл. 05.02.2018.

12 **Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Машрапов, Б. Е., Шолохова, И. И.** Устройство для максимальной токовой защиты электроустановки на герконах // Пат. 2624907 РФ МПК H02H 3/08; опубл. 10.07.2017.

## REFERENCES

1 **Diakov, A. F, Ishkin, V. Kh, Mamikonians, L. G, Semenov V. A.** Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletia (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 **Kozhovich, L. A, Bishop, M. T** Sovremennaiia releinaia zashchita s datchikami toka na baze katushki Rogovskogo [Modern relay protection with current sensors based on the Rogowski coil] // Modern trends in the development of relay protection and automation of power systems: mater. intl. sci.-tech. conf. – М., 2009. – P. 39–48.

3 **Kletsel, M. Ya** Osnovy postroeniia releinoi zashchity na gerkonakh [Fundamentals of building relay protection on reed switches] // Modern trends in the development of relay protection systems and automation of power systems: mater. 4th Intern. sci.-tech. conf. – Ekaterinburg, 2013. – P. 1-10.

4 **Kletsel, M., Berguzinov, A., Alishev, Zh., Goryunov, V.** Constructions and details for fixing magnetically operated sealed switches in the closed electrical pathways // Proc. of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2014. – P. 1-5.

5 **Kaltayev, A., Mashrapov, B., Talipov, O.** Designs for Mounting Reed Switches in Closed Complete Current Conductors and on Cable Lines // Proc. of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020. – P. 1-5.

6 **Kletsel, M. Ya., Berguzinov, A. N., Erzhanov, N. T.** Ustroistvo dlia maksimalnoi tokovoi zashchity [Device for overcurrent protection] // Пат. 2570328 РФ IPC H02H 3/00; publ. 12/10/2015.

7 **Kletsel, M. Ya., Musin, V. V.** O postroenii na gerkonakh zashchit vysokovoltnykh ustanovok bez transformatorov toka [On the construction on reed switches of protection of high-voltage installations without current transformers] // Electrical engineering. – 1987. – №4. – P. 11–13.

8 **Kletsel, M., Barukin, A., Talipov, O.** About the Biot-Savart-Laplace law and its use for calculations in high-voltage AC installations // Przegląd Elektrotechniczny, 2017. – vol. 93, № 11. – P. 129-132.

9 **Kletsel, M. Ya., Musin, V. V.** Vybor toka srabatyvaniia maksimalnoi tokovoi zashchity bez transformatorov toka na gerkonakh [Choice of operating current of

overcurrent protection without current transformers on reed switches] // Industrial energy. – 1990. – №4. – С. 32–36.

10 **Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Kaltaev, A. G.** Izmeritelnyi organ dlia tokovoi zashchity elektroustanovki s opornymi izoliatorami [Measuring device for current protection of electrical installations with support insulators] // Pat. 32006 RK IPC H02N 3/08; publ. 04/14/2017.

11 **Barukin, A. S.** Ustroistvo dlia krepleniia gerkonov zashchit vysokovoltnykh elektroustanovok [Device for fastening reed switches for protection of high-voltage electrical installations] // Pat. 32645 RK IPC H02N 3/08; publ. 02/05/2018.

12 **Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Mashrapov, B. E., Sholokhova, I. I.** Ustroistvo dlia maksimalnoi tokovoi zashchity elektroustanovki na gerkonakh [Device for maximum current protection of electrical installations on reed switches] // Pat. 2624907 RF IPC H02N 3/08; publ. 07/10/2017.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*М.Я. Клещель<sup>1</sup>, А.С. Барукин<sup>2</sup>, Б.Е. Маширапов<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## **АЙНЫМАЛЫ ЖӘНЕ ТҰРАҚТЫ ТОК ШИНАЛАРЫНА ЖАҚЫН ГЕРКОНДАРДЫ БЕКІТУГЕ АРНАЛҒАН КОНСТРУКЦИЯЛАР**

Геркондарды пайдалану ток трансформаторларынсыз релілік қорғаныс құрылғыларын құрудың өзекті мәселесін шешуге мүмкіндік беретіні атап өтілді. Оларды бекіту үшін және ток өткізгіш шиналардың жанында геркондардың орнын өзгерту арқылы осы құрылғылардың жұмыс істеу параметрлерін реттеу үшін арнайы конструкциялар қажет екендігі атап өтілді. Айнымалы және тұрақты ток шиналарына жақын геркондарды бекіту үшін төрт жаңа конструкция ұсынылады. Олардың бірінішісі шинаны жабатын қамыттың,  $n$  геркондар мен тақтайша орнатылған осы қамытпен бекітілген табақтың болуымен белгілілерден ерекшеленеді; екіншісі – қос құлақ қамытпен және герконы бар барабанды ілікті механизмы бар екі айналмалы догалармен; үшіншісі – геркондары мен бекіту бұрыштары бар Г-тәрізді тақтайшамен; төртіншісі – төрт тесігі бар екі тікбұрышты бөренемен ерекшеленеді. 3D басып шығару арқылы PLA типті пластиктен екінші конструкцияның тәжірибелік үлгісі жасалғаны аталған, оның массасы мен көлемі (геркондармен бірге) ток трансформаторларына қарағанда сәйкесінше 167 және

89 есе аз. Мұндай есептік қатынастар басқа конструкциялар үшін де алынғандығы атап өтілді. Ұсынылған конструкцияларды қолдана отырып, геркондар негізіндегі қорғаныс параметрлерін реттеу әдістері сипатталған.

Кілтті сөздер: қорғаныс, геркон, конструкция, бекіту, шина, ток өткізгіш.

\*M. Ya. Kletsel<sup>1</sup>, A. S. Barukin<sup>2</sup>, B. E. Mashrapov<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.12.22

## **DESIGNS FOR FASTENING REED SWITCHES NEAR AC AND DC BUSBARS**

It is noted that the use of reed switches allows solving the actual problem of building relay protection devices without current transformers. It is emphasized that in order to fix them and regulate the operation parameters of these devices by changing the position of the reed switches near the current-carrying busbars, special designs are required. Four new designs are proposed for attaching reed switches near AC and DC busbars. The first of them differs from the known ones by the presence of a clamp covering the bus, a plate on which  $n$  reed switches are fixed and a bar fastened to this clamp; the second - with a double ear clamp and two swivel arches with drum ratchets with a reed switch; the third - L-shaped plate with reed switches and mounting brackets; the fourth - two rectangular beams with four through holes. It is mentioned that with the help of 3D printing, a prototype of the second design was made from PLA plastic, the mass and occupied volume of which (together with reed switches) are 167 and 89 times, respectively, less than that of current transformers. It is noted that similar design ratios were obtained for other designs. Methods for regulating the operation parameters of protections on reed switches using the proposed designs are described.

Keywords: protection, reed switch, design, fastening, busbar, conductor.



[doi.org/10.48081/XXFD2467](https://doi.org/10.48081/XXFD2467)

**\*Т. К. Қойшиев<sup>1</sup>, Г. К. Сыдыкова<sup>2</sup>, Ф. Б. Құрманбаев<sup>3</sup>,  
И. Б. Құлтан<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан  
Республикасы, Қызылорда қ.

## **SHADOW ANALYZER БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖҮЙЕДЕ PV-КҮН ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ КОМПЬЮТЕРЛІК АРХИТЕКТУРАСЫН ҚҰРУ ЖӘНЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ**

*Қазіргі уақытта PV-күн технологиясын жобалау үшін әртүрлі қолданбалы бағдарламалар әзірленуде, олардың негізгі міндеті фотоэлектрлік станциялардың физикалық-математикалық үлгілерін жасау болып табылады.*

*Shadow Analyzer бағдарламалық жүйесінің басқа бағдарламалық құралдарға қарағанда маңызды артықшылығы - зерттелетін нысанның архитектурасын бақылау және визуализациялау жүйесінің болуы, мұның өзі PV-күн технологиясының жұмыс параметрлері туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді.*

*Қарастырылып отырған Shadow Analyzer бағдарламалық жүйесі функционалды болып келеді, мысалы бірінші кезеңде таңдап алынған нысананы тұрғызу үшін арнайы бас сахна таңдалады.*

*Оған бас XYZ координата жүйесі бекітіледі, ал қалған элементтерін басқа сахнада тұрғызып, олар бас сахнамен біріктіріліп жиналады.*

*Сонда бас сахнада толық дайындалған нысана пайда болады. Дайын болған нысананың төбесінің бос аймағына PV-күн стансасының қажетті қуатты архитектурасы тұрғызылады. Дайын болған нысананы кез-келген бағытта қозғауға болады. Келесі кезеңде функционалды түймешіктің көмегі арқылы зерттелетін нысананың қажетті мәліметтерін алуға болады.*

*Берілген жұмыста Кентау трансформатор зауытының жарықтандыру жүйелерін энергиямен жабдықтау мақсатында Shadow Analyzer бағдарламалық құралының көмегімен дербес PV-күн*

*технологиясының компьютерлік архитектурасын құру мәселелері қарастырылады.*

*Кілтті сөздер: PV – күн технологиясы, бағдарламалық құрал жаңартылатын энергия көздері, күн, фотоэлектрлік модуль, күн батареялары.*

### **Кіріспе**

Қазақстанның энергетикалық секторында басым бағыттардың бірі жаңартылатын энергияны, яғни индустриялық-инновациялық даму бағыты бойынша мемлекеттік бағдарламада келтірілген «Болашақ энергиясы» саласын қалыптастыру және дамыту болып табылады.

Қазіргі уақытта PV-күн технологиясын жобалауға арналған әртүрлі қолданбалы бағдарламалық құралдар әзірленуде. Негізгі міндет - жобаланатын объектінің PV-күн сәулесінің адекватты компьютерлік модельдерін құру [2,4].

Бұл тұрғыдағы мәселенің өзектілігі автономды объектілерді энергиямен жабдықтау үшін күн технологиясын дамытудың жоғары қарқынына және Қазақстанның әртүрлі өңірлерінде пайдалану географиясының кеңеюіне байланыстылығында.

PV-күн технологиясын жобалау кезінде аймақтың климаттық ерекшеліктерімен қатар, PV-күн станциясынан қажетті қуатты алатын күн модульдерін орнату үшін жобаланатын нысанның архитектурасын ескеру қажет [1,3].

### **Материалдар мен әдістер**

Shadow Analyzer бағдарламалық құралының әдістемелері мен міндеттері келесідей:

- PV-күн технологиясының бетін тиімді пайдалануға ықпал ететін визуализацияны суреттеу және сандық сипаттамаларды құрастыру;

- PV-күн технологиясының оңтайлы, компьютерлік конструктивті архитектурасын алу;

- күндізгі, маусымдық және жылдық жұмыс циклі бойынша PV-күн технологиясының оптикалық-энергетикалық және геометриялық сипаттамаларын бағалау [6,8].

Біз Shadow Analyzer бағдарламалық құралының көмегімен Кентау трансформатор зауытының (КТЗ) жарықтандыру жүйесі үшін қуаты 20 кВт PV - күн станциясының компьютерлік архитектурасын әзірледік [5,7].

Зауыт Қазақстанның оңтүстік өңіріндегі Кентау қаласында ендігі 43.51 с. е., бойлығы 68.51 ш. б. орналасқан (1-сурет).



Сурет 1 – «Google Earth» ақпараты бойынша КТЗ ғимаратының жер бедері мен бағыты.

### Нәтижелер және талқылау

Жұмыста қуаты 20 кВт PV станциясының құрылымдық компьютерлік архитектурасын әзірлеу бойынша жоба жасалды.

Бағдарламалық модульде есептелген қорғаныс алгоритмдерін орындау үшін алдымен Shadow Analyzer бағдарламалық құралын іске қосамыз, содан кейін барлық құралдар тақталарын енгіземіз.

3D терезесінде қажетті берілгендерді енгізуге арналған «Scene1» бос көрінісі пайда болады. Барлық басқару элементтері үшін бұл көріністі басқаратын қарапайым логика бар. Құралдар тақталары әдеттегі жұмыс ретін көрсетеді [10,12].

Біз жобада «ASTANA SOLAR» ЖШС шығаратын қуаты 275 Вт 80 дана күн модульдерін пайдалануды жоспарлаймыз.

Shadow Analyzer бағдарламасының басқа 3D бағдарламалық құралдарынан айырмашылығы - визуалды компьютерлік құрастыруға, яғни күн модульдерінің орналасу сұлбасын жасауға мүмкіндік береді. Бағдарламалық құрал тек нысандарды ғана емес, сонымен қатар олар түсіретін көлеңкелерді де көрсетеді.

Күн модульдері арасындағы көлеңкелі әсердің көріну фрагментінің нәтижелерін 2-суреттен байқауға болады.

Сонымен қатар, CAD Shadow Analyzer бағдарламалық құралының параметрлік ерекшеліктері төмендегі мүмкіндіктерді береді [8,10].

- оларды жаңа нысандармен толтыру;
- күн модульдерінің өлшемдерін өзгерту;
- күн модульдерінің бағытын келтіру;
- күні бойы станцияның күн модульдері өрісінде көлеңкелі әсерлерді көрсету;

- нысандардың түстері мен шағылысу қасиеттерін өзгерту;
- нысандардың бетіндегі текстураларды қолдану;

Барлық геометриялық параметрлерді енгізгеннен кейін файлдардың сценарийлерін (sa1) сақтауға болады.

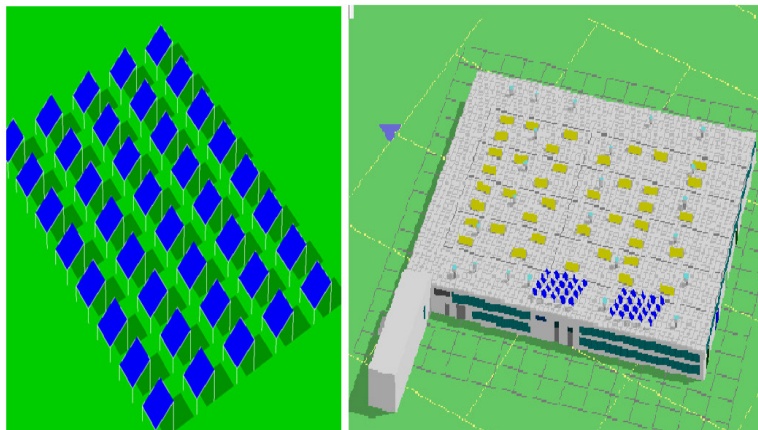
Келесі деректердің көмегімен PV-күн фотоэлектр станциясының техникалық есептеулерін жүргіземіз:

- күн батареяларының жалпы номиналды қуаты - 22 кВт;
- Кентау қаласындағы КТЗ орналасқан жердің ендігі мен бойлығы;
- күн модулінің геометриялық өлшемдері;
- күн станциясындағы күн энергиясының жалпы шығынын 16% деп қабылдаймыз.

ҚТЖ үшін жұмыс жобасының технологиялық бөлігі 80 стационарлық фотоэлектрлік модульдерді (өлшемдері 1649 мм x 992 мм x 40 мм) орнатуды ұсынады.

Shadow Analyzer бағдарламасын іске қосқаннан кейін бос көрініс ашылады, содан соң құралдар тақтасындағы «Жаңа құжат» түймесін басу арқылы жаңа өрісті ашамыз. Factory құралдар тақтасынан «ArrRectInc» нысанын таңдап, «N» түймесін басамыз. Бұл стационарлық күн модулінің нысанын көрсетеді [11,13].

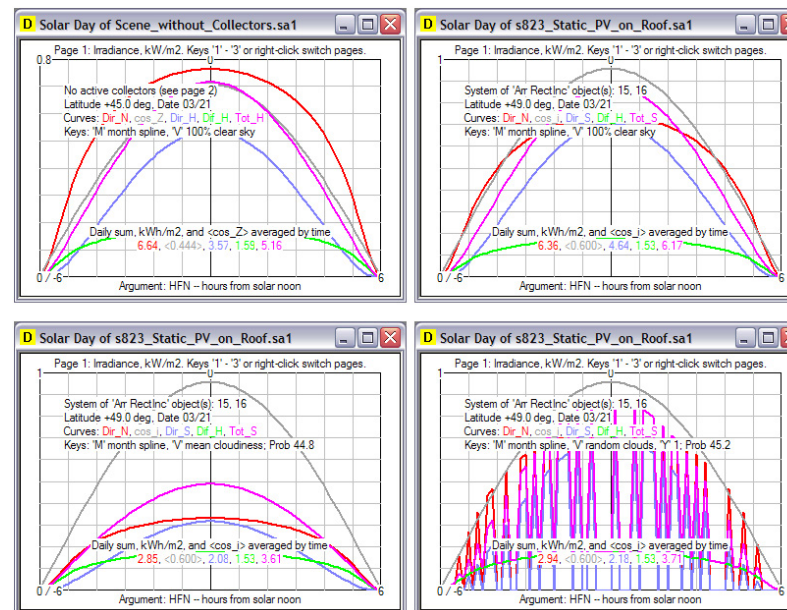
Есептеу алгоритмдерін орындау үшін күн станциясының барлық параметрлерін енгіземіз. Нәтижесінде көріністен 80 фотомодульден тұратын PV-күн станциясының визуалды орналасу диаграммасын аламыз (2-сурет).



Сурет 2 – Күн фотомодульдерінің компьютерлік архитектуралық - орналасу схемасы және Shadow Analyzer бағдарламалық жүйесіндегі зауыт төбесіндегі фотомодульдердің орналасу схемасы.

Автономды күн станциясынан өндірілетін орташа айлық электр энергиясын өндірудің есептеу нәтижелері, кВт/ай.

Shadow Analyzer-дің келесі беті күн панельдерінің бетіндегі тікелей, диффузиялық және жалпы жарықтандыруды көрсетеді, егер тиісті көріністе белсенді коллекторлар болмаса, онда жарық көлденең бетке есептеледі.



Сурет 3 – Shadow Analyzer бағдарламалық ортасында күн панельдерінің энергетикалық жарықтандыруын есептеу нәтижелері

Энергетикалық параметрлердің нәтижелері 3-суретте көрсетілген. Мұнда:

- бірінші жолда жүйенің түрі мен нысандары көрсетіледі;
- екінші жол географиялық ендік пен күнді көрсетеді.

Суреттегі қысқартар:

- Dir\_N - тікелей күн радиациясы, кВт/м<sup>2</sup>;
- cos (i) - PV- күн стансасының бетіндегі тікелей радиацияның түсу бұрышының косинусы;
- Dir\_S - PV- күн стансасының бетіндегі тікелей күн радиациясы, кВт/м<sup>2</sup>;
- Dif\_H - толық диффузиялық күн радиациясы, кВт/м<sup>2</sup>;
- Tot\_S - PV- күн стансасының бетіндегі жалпы күн радиациясы, кВт/м<sup>2</sup>.

Тақырыптың астындағы қысық сызық күн радиациясының құрамдас бөліктерінің кВтсағ/м<sup>2</sup>-дегі күнделікті қосындысын және күндізгі уақыттағы орташаланған cos(i) параметрін көрсетеді [13,14].

3-суреттегі экрандағы төрт скриншотта күн коллекторлары жоқ көріністің жеке жағдайын және «V» қосқышының үш нұсқасына арналған күн коллекторлы «s823...» көрінісінің үш жағдайын көреміз.

**Қорытынды**

Shadow Analyzer бағдарламалық құралы күн энергетикасы саласында жұмыс істейтін мамандар үшін күн технологиясын жобалау кезінде көрсетілген талаптарды толық орындауға мүмкіндік беретін қуатты параметрлік САД болып табылады. Берілген жұмыста Shadow Analyzer бағдарламалық жүйесінің көмегімен Кентау трансформатор зауытының жарықтандыру жүйелерін энергиямен қамтамасыз ету үшін қуаты 20 кВт күн станциясының орналасу компьютерлік архитектурасы әзірленді.

Жобаны орындау барысында станцияның энергия өндіруінің алдын-ала есептеулері жүргізілді және станцияның басқа параметрлері анықталды.

Сонымен қатар, күн модульдерін орналастыру сұлбасының ықтималдығы анықталды.

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **Yilmaz, H., Mwesigue, A.** Modeling simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors : A comprehensive review // Applied energy. – vol. 225. – P. 135-174. – 2018.

2 **Sapaev, I., Saitov, E., Zohidov, N., Kamanov, B.** Matlab – model of a solar photovoltaic station integrated with a local electrical network : Conmechhydro - 2020 IOPConf. Series: Materials Science and Engineering 883(2020) 012116.

3 **Отто, А. И.** Автономные энергетические установки с экстремальным регулированием мощности фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Томск, – 2018.

4 **Майоров, В. А.** Исследование тепловых характеристик теплофотоэлектрического солнечного модуля с концентратором и приемником треугольного профиля // Гелиотехника. – 2018. – № 6. – 45–55 с.

5 **Стребков, Д. С., Иродионов, А. Е., Филипченкова, Н. С.** Солнечные концентраторные модули с жалюзийными гелиостатами –М. : ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019. – 144 с.

6 **Avezova, N. R., Vokhidov, A. U., Farmonov, A. A., Dalmuradova, N. N.** Renewable energy : challenges and solutions // Applied Solar Energy. – vol. 55.– P. 149–152. – 2019.

7 **«Global installierte Photovoltaik-Kraftwerksleistung nähert sich der 100-Gigawatt-Marke»**, Solar Server 2 March 2017.

8 **Поливанов, А. А., Галушак, В. С., Титова, М. Е.** Исследование методов изменения направления световых лучей в солнечных электроустановках : Международный студенческий научный вестник [электронный журнал]. – 2018. – № 3. – С. 217–219.

9 **Жаркеев, А. Т., Гинаятова, А. М., Ербаева, Н. Б.** Классификация возобновляемых источников энергии, ЗКАТУ им. Жангир хана, Наука и образование – Выпуск 1 – 2017. – 217 с.

10 **Булатбаев, Ф. Н., Исаев, В. Л., Кызыров, К. Б., Калытка, В. А.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. –Қарағанда : ҚарГТУ, 2017. – 412 с.

11 **Судхаршан, К. И., Кумар, П. В., Баршилия, Х. С.** Performance evaluation of a thermally concentrated solar thermo - electric generator without optical concentration // Solar Energy Materials & Solar Cells – 2016. – 93-100 с. – ISSN:0927-0248.

12 **Чередов, В. О., Каримов, А. М., Акылбекова, А. Ж.** Оценка потенциала солнечного излучения в пределах территории Республики Казахстан для выработки электроэнергии, 2017. – 60 с.

13 **Койшиев, Т. К., Бекбаев, А. Б., Садырбаев, Ш. А., Кошелеков, Р. У.** Design and construction of the DC/DC power converter for stand - alone PV system with battery storage Colloids and nanotechnologies in industry // КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2012. – № 9. – 153 с.

14 **Койшиев, Т. К., Шерментгаева, Ж. О., Омарова, Т. М.** Проектирование и методика осуществления логической модели фонда сведений солнечных ресурсов Южного Казахстана : Вестник КазАТК [Научный журнал] – 2016. – № 4(99). – 115-121 С. – ISSN 169–1817.

**REFERENCES**

1 **Yilmaz, H., Mwesigue, A.** Modeling simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors : A comprehensive review. Applied energy. – vol. 225. – pp. 135-174. – 2018.

2 **Sapaev, I., Saitov, E., Zohidov, N., Kamanov, B.** Matlab - model of a solar photovoltaic station integrated with a local electrical network : Conmechhydro - 2020 IOPConf. Series: Materials Science and Engineering 883(2020) 012116.

3 **Otto, A. I.** Avtonomnye jenergeticheskie ustanovki s jekstremal'nym regulirovaniem moshhnosti fotoelektricheskikh preobrazovatelej solnechnoj jenergii [Autonomous power plants with extreme power regulation of photovoltaic solar energy converters: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnicheskikh nauk – Tomsk, – 2018.

4 **Majorov, V. A.** Issledovanie teplovyh karakteristik teplofotoelektricheskogo solnechnogo modulja s koncentratorom i priemnikom treugol'nogo profilja [Investigation of thermal characteristics of a thermal photovoltaic solar module

with a concentrator and receiver of a triangular profile]. Geliotekhnika. – 2018. – № 6. – 45–55 p.

5 **Strebkov, D. S., Irodionov, A. E., Filipchenkova, N. S.** Solnechnye koncentratornye moduli s zhaljuzijnymi geliostatami [Solar concentrator modules with louvered heliostats] –Moscow. FGBNU FNAC VIM, 2019. – 144 p.

6 **Avezova, N. R., Vokhidov, A. U., Farmonov, A. A., Dalmuradova, N. N.** Renewable energy : challenges and solutions. Applied Solar Energy. – vol. 55.– P. 149-152. – 2019.

7 «Global installierte Photovoltaik-Kraftwerksleistung nähert sich der 100-Gigawatt-Marke», Solar Server 2 March 2017.

8 **Polivanov, A. A., Galushhak, V. S., Titova, M. E.** Issledovanie metodov izmenenija napravlenija svetovyh luchej v solnechnyh jelektroustanovkah [Investigation of methods for changing the direction of light rays in solar electrical installations: International Student Scientific Bulletin] : Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik [electronic journal]. – 2018. – № 3. – P. 217-219.

9 **Zharkeev, A. T., Ginajatova, A. M., Erbaeva, N. B.** Klassifikacija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии [Classification of renewable energy sources], ZKATU im. Zhanger hana, Nauka i obrazovanie – Vypusk 1 – 2017. – 217 p.

10 **Bulatbaev, F. N., Isaev, V. L., Kyzzyrov, K. B., Kalytka, V. A.** Netradiconnye i vozobnovljaemye istochniki jenerгии [Unconventional and renewable energy sources]. – Karaganda : KarGTU, 2017. – 412 p.

11 **Sudharshan, K. I., Kumar, P. V., Barshilija, H. S.** Performance evaluation of a thermally concentrated solar thermo - electric generator without optical concentration [Performance evaluation of a thermally concentrated solar thermo - electric generator without optical concentration]. Solar Energy Materials & Solar Cells – 2016. – 93-100 p. – ISSN:0927-0248.

12 **Cheredov, V. O., Karimov, A. M., Akylbekova, A. Zh.** Ocenka potenciala solnechnogo izlucheniya v predelakh territorii Respubliki Kazahstan dlja vyrabotki jelektroujenerгии [Assessment of the potential of solar radiation within the territory of the Republic of Kazakhstan for electricity generation], 2017. – 60 p.

13 **Kojshiev, T. K., Bekbaev, A. B., Sadyrbaev, Sh. A., Koshelekov, R. U.** Design and construction of the DC/DC power converter for stand - alone PV system with battery storage Colloids and nanotechnologies in industry [Design and construction of the DC/DC power converter for stand - alone PV system with battery storage Colloids and nanotechnologies in industry]. KazNTU im. K. I. Satpaeva, 2012. – № 9. – 153 p.

14 **Kojshiev, T. K., Shermentaeva, Zh. O., Omarova, T. M.** Proektirovanie i metodika osushhestvlenija logicheskoy modeli fonda svedenij solnechnyh resursov Juzhnogo Kazahstana [Design and methodology of implementation of the logical

model of the Solar Resources information Fund of Southern Kazakhstan] : Vestnik KazATK [Nauchnyj zhurnal] – 2016. – № 4(99). – 115-121 p. – ISSN 169-1817.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

\* *T. K. Kойшыев<sup>1</sup>, Г. К. Сыдыкова<sup>2</sup>, Г. Б. Курманбаев<sup>3</sup>,*

*И. Б. Култан<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>Кызылординский университет имени Коркыт Ата,

Республики Казахстан, г. Кызылорда

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

## СОЗДАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ PV- СОЛНЕЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЕ SHADOW ANALYZER

*В настоящее время разрабатываются различные прикладные программы для проектирования PV-солнечной технологии, основной задачей которых является создание физико-математических моделей фотоэлектрических установок.*

*Важным преимуществом программной системы Shadow Analyzer, перед другими программными инструментами является наличие в ней системы мониторинга и визуализации архитектуры исследуемого объекта, которая позволяет получать информацию о рабочих параметрах PV-солнечной технологии.*

*Рассматриваемая программная система Shadow Analyzer функциональна, например, для построения выбранной цели на первом этапе выделяется специальный основной этап.*

*К нему привязывается основная система координат XYZ, а остальные элементы встраиваются в другую сцену и собираются вместе с основной сценой.*

*Затем на главной сцене появится полностью подготовленный объект. Требуемая силовая архитектура фотоэлектрической солнечной электростанции строится на пустой площади крыши готового объекта. Готовый объект можно перемещать в любом направлении. На следующем этапе с помощью функциональной кнопки можно получить необходимую информацию об исследуемом объекте.*

*В данной работе рассматриваются вопросы создания компьютерной архитектуры автономной PV-солнечной технологии с помощью программного инструмента Shadow Analyzer, с целью*

*энергоснабжения систем освещения Кентауского трансформаторного завода.*

*Ключевые слова: PV-солнечная технология, программный продукт, возобновляемые источники энергии, солнечный, фотоэлектрический модуль, солнечные батареи.*

\* T. K. Koishiev<sup>1</sup>, G. K. Sydykova<sup>2</sup>, G. B. Kurmanbaev<sup>3</sup>, I. B. Kultan<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Kyzylorda University named after Korkyt Ata,

Republic of Kazakhstan, Kyzylorda

Material received on 15.12.22

### CREATION AND VISUALIZATION OF PV-SOLAR TECHNOLOGY COMPUTER ARCHITECTURE IN THE SHADOW ANALYZER SOFTWARE SYSTEM

*Currently, various application programs are being developed for the design of PV-solar technology, the main task of which is to create physical and mathematical models of photovoltaic installations.*

*An important advantage of the Shadow Analyzer software system over other software tools is the presence in it of a system for monitoring and visualizing the architecture of the object under study, which allows obtaining information about the operating parameters of PV-solar technology.*

*The Shadow Analyzer software system under consideration is functional, for example, a special main stage is allocated at the first stage to build the selected goal.*

*The main XYZ coordinate system is attached to it, and the remaining elements are embedded in another scene and assembled together with the main scene.*

*Then a fully prepared object will appear on the main stage. The required power architecture of a photovoltaic solar power plant is being built on an empty roof area of a finished facility. The finished object can be moved in any direction. At the next stage, using the functional button, you can get the necessary information about the object under study.*

*This paper discusses the issues of creating a computer architecture of an autonomous PV-solar technology using the Shadow Analyzer software tool, in order to power the lighting systems of the Kentau transformer plant.*

*Keywords: PV-solar technology, software product, renewable energy sources, solar, photovoltaic module, solar panels.*

ГРНТИ 45.03.03

[doi.org/10.48081/XCIV1234](https://doi.org/10.48081/XCIV1234)

**\*Е.Н. Колесников<sup>1</sup>, А.Н. Новожилов<sup>2</sup>, Д.М. Рахимбердинова<sup>3</sup>, Т.А. Новожилов<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>4</sup>Омский Государственный Технический Университет, Российская Федерация, г. Омск

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭДС МТТ РАСПОЛОЖЕННОГО МЕЖДУ СТЕРЖНЯМИ СЕРДЕЧНИКА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

*Одними из наиболее важных устройств в электроэнергетике являются однофазные и трехфазные силовые трансформаторы. При этом одним из самых ненадежных элементов в них независимо от мощности и класса напряжения, являются обмотки, а наиболее часто встречающимся электрическим повреждением обмоток - витковое замыкание. Однако традиционно используемые защиты трансформаторов на трансформаторах тока обладают низкой чувствительностью к витковым замыканиям.*

*Для разработки и реализации защит трехфазных трехобмоточных трансформаторов с применением магнитных трансформаторов тока (МТТ) необходимо иметь информацию о распределении магнитных полей рассеяния этих катушек в пространстве. Известны методы моделирования магнитных полей рассеяния вокруг круглого стержня. Однако одним из предполагаемых мест расположения МТТ при реализации защиты является расположение его строго между стержнями трансформатора. В статье предложен метод расчета действующего значения ЭДС индуктируемой в обмотке МТТ расположенной в данном месте.*

*Моделирование магнитного поля рассеяния предлагается осуществлять с помощью метода сеток (конечных разностей). Для этого расчетная область разбивается на прямоугольную сетку с шагом  $h$ . Т.е. область непрерывного аргумента заменяется конечным множеством точек. Таким образом, в методе рассматриваются разностные приближения вместо производных уравнения Пуассона.*

*Определение магнитного потенциала численным способом осуществляется по методу итераций с помощью персональных компьютеров (ПК)*

*Ключевые слова: трехфазный трехобмоточный трансформатор, моделирование магнитных полей, обмотки трансформатора, ЭДС МТТ, метод сеток.*

### Введение

Одним из наиболее важных устройств в электроэнергетике является однофазные и трехфазные силовые трансформаторы [1]. При этом одним из самых ненадежных элементов в них независимо от мощности и класса напряжения, являются обмотки [2-3], а наиболее часто встречающимся электрическим повреждением обмоток - витковое замыкание (ВЗ). Как показывает практика эксплуатации силовых трансформаторов на ВЗ в их обмотках приходится до 25-45% от всех повреждений [2-4] в зависимости от конструкции и мощности, а затраты на их ремонт порой сопоставимы со стоимостью самих трансформаторов. В то же время своевременное отключение трансформатора при ВЗ релейной защитой позволяет значительно сократить этот ущерб. Однако традиционно используемые защиты трансформаторов на трансформаторах тока обладают низкой чувствительностью к ВЗ [3].

### Материалы и методы

Более чувствительны к ВЗ защиты, работа которых основана на измерении изменения магнитных полей рассеяния обмоток трансформатора. Для этого в релейной защите используют магнитные трансформаторы тока (МТТ) [3,5].

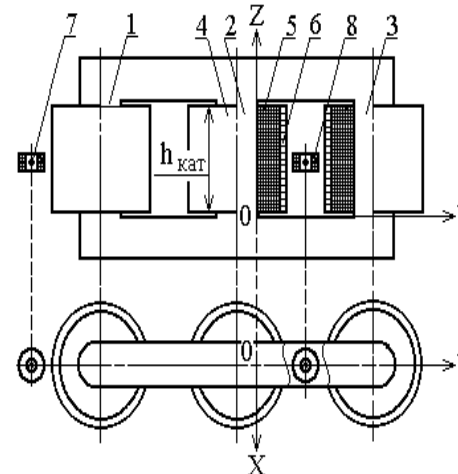


Рисунок 1 – Взаимное расположение элементов трансформатора и МТТ

Взаимное расположение элементов трансформатора и МТТ защиты приведено на рисунке 1. На этом рисунке: 1, 2 и 3 – стержни ферромагнитного сердечника трехфазного трансформатора; 4 – одна из катушек этого трансформатора; 5 и 6 – обмотка высокого и низкого напряжения; 7 и 8 – МТТ.

Разработка и реализация защиты трехфазного трансформатора на двух МТТ невозможна без расчета ЭДС этих МТТ. Как видно из рисунка 1 МТТ 7 размещается вне контура трансформатора. В связи с этим расчет его ЭДС может базироваться на методе моделирования магнитных полей рассеяния вокруг круглого стержня [6] и в данной работе не рассматривается.

МТТ 8 располагается строго между стержнями магнитопровода трансформатора. В этом случае расчет его ЭДС усложняется тем, что он окружен ферромагнитными элементами трансформатора в виде стержней 2 и 3, а также верхнего и нижнего ярма. В этом случае моделирование магнитного поля рассеяния обмоток трансформатора обычно осуществляют в следующем порядке. Первоначально, как в [6], моделируют магнитное поле рассеяния витка с током, а затем путем суммирования магнитных полей всех витков определяют магнитное поле рассеяния обмоток. Затем по величине магнитных полей рассеяния обмоток рассчитывается ЭДС МТТ.

Если допустить, что стержни магнитопровода трансформатора круглые, то для моделирования магнитного поля рассеяния витка с током используют расчетную схему, приведенную на рисунке 2. Для ее реализации поверхности стержней разворачивают вдоль оси X в плоскость, а проводник

витка в прямую линию. В этом случае моделирование распределения магнитного поля витка между ферромагнитными стержнями сводится к решению классической задачи по моделированию плоского магнитного поля бесконечного проводника с током в призматическом ферромагнитном канале [7,8].

В соответствии с расчетной схемой на рисунке 2 в принятой системе координат обмотки разных фаз трансформатора размещаются в зонах «а» и «б», а каждый виток обмотки, в котором протекает ток  $i_B$  имеет свои координаты  $y_B$  и  $z_B$ . При этом высота и ширина призматического канала принимаются равными  $H$  и  $T$ , координаты точки  $A$  в которой рассчитывается магнитное поле помечаются как  $y$  и  $z$  а МТТ имеет координаты и  $y = H/2$  и  $z=T/2$ .

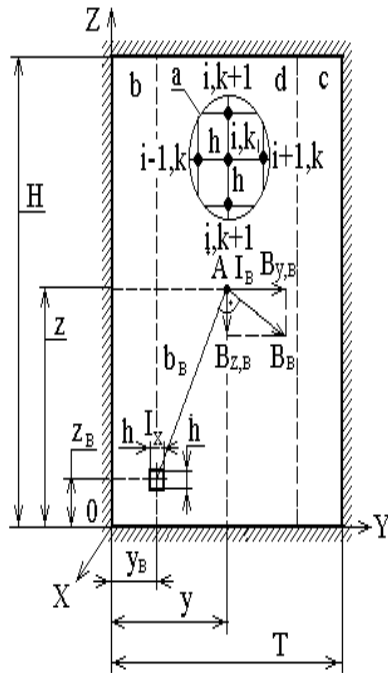


Рисунок 2 – Расчетная схема

Для моделирования магнитного поля рассеяния в зоне между двумя стержнями трансформатора можно воспользоваться широко известными методами А. А. Гринберга [8], сеток и зеркальных изображений [7]. Однако по целому ряду причин в этой работе используется метод сеток.

Этот метод базируется на том, что моделирование плоского магнитного поля с помощью уравнения Пуассона [7]

$$\frac{\partial^2 A_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A_x}{\partial z^2} = -\mu_0 j_x, \quad (1)$$

где  $A_x$  и  $j_x$  -тангенциальная составляющая векторного магнитного потенциала и плотности тока в витке;  $\mu_0$  - магнитная проницаемость вакуума.

В данном случае его решение осуществляется при допущении того, что магнитная проницаемость ферромагнитных поверхностей элементов магнитопровода между его стержнями равна бесконечности. При этом в соответствии с [7] погрешность от этого допущения обычно не превышает 3÷5 %. В специально оговоренных случаях магнитная проницаемость тонких, менее одного миллиметра, листов принимается равной  $\mu_0$ .

При использовании метода сеток (конечных разностей) [7] расчетная область разбивается на прямоугольную сетку с шагом  $h$ . То есть область непрерывного аргумента заменяется конечным множеством точек так, как показано в зоне «а» на рисунке 2. При этом вместо производных в уравнении Пуассона, рассматриваются их разностные приближения

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 A_x}{\partial y^2} &\approx \frac{A_{x(i,k+1)} - 2A_{x(i,k)} + A_{x(i,k-1)})}{h^2}; \\ \frac{\partial^2 A_x}{\partial z^2} &\approx \frac{A_{x(i+1,k)} - 2A_{x(i,k)} + A_{x(i-1,k)})}{h^2}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В связи с этим во всех узлах зон «б» и «с», то есть там, где располагаются витки с током

$$A_{x(i,k)} = \frac{A_{x(i+1,k)} + A_{x(i-1,k)} + A_{x(i,k+1)} + A_{x(i,k-1)} + \mu_0 h^2 j_x}{4}. \quad (3)$$

В зоне «д» узлы с током отсутствуют. В них векторный магнитный потенциал

$$A_{x(i,k)} = \frac{A_{x(i+1,k)} + A_{x(i-1,k)} + A_{x(i,k+1)} + A_{x(i,k-1)}}{4}. \quad (4)$$

Эти уравнения составляются для каждого узла расчетной зоны. В получившейся системе задают известные значения векторного магнитного потенциала. То есть граничные условия.



Граничные условия в соответствии с [9,10] базируются на том, что тангенциальная составляющая на пограничных ферромагнитных плоскостях равна нулю. В связи с этим в углах прямоугольной расчетной зоны величину векторного магнитного потенциала следует принимать равной нулю.

С учетом того, что величина  $h^2 j_x$  представляет собой ток в узлах зон  $b$  и  $c$ , в количество узлов в каждой из этих зон равно  $mn$ , то тогда ток в узле определяется как

$$I_x = h^2 j_x = \frac{I_1 w_1 + I_2 w_2}{mn}, \quad (5)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – ток в первичной и вторичной обмотках катушки трансформатора;  $w_1$  и  $w_2$  – число витков в первичной и вторичной обмотках катушки трансформатора;  $m$  и  $n$  – число клеток сетки в областях  $b$  и  $c$  по горизонтали и вертикали.

Определение магнитного потенциала численным способом обычно осуществляют по методу итераций с помощью персональных компьютеров (ПК). В каждой итерации его величина определяется путем последовательного решения уравнений (3) и (4) для каждого узла расчетной схемы. В связи с этим точность моделирования магнитного потенциала с каждой итерацией повышается. С другой стороны увеличение числа итераций сопровождается увеличением числа расчетов, а следовательно погрешности расчета, которая вызвана тем, что любой ПК обладает ограниченной точностью расчетов. Таким образом, при моделировании магнитного потенциала основным критерием этого моделирования является определение числа итераций, которое необходимо для обеспечения достаточной точности.

Совместное решение уравнений (3) и (4) позволяет получить значение векторного магнитного потенциала в каждом узле. Тогда, в точке  $i, k$

$$B_{y(i,k)} \approx \frac{A_x(i+1,k) - A_x(i,k)}{h}; \quad B_{z(i,k)} \approx \frac{A_x(i,k) - A_x(i,k+1)}{h}. \quad (5)$$

При этом действующее значение ЭДС индуктируемой в обмотке МТТ может определяться по следующему математическому выражению

$$E_{\text{МТТ}} = 4,44 f w_{\text{МТТ}} Q_{\text{МТТ}} B_{z(i,k)}, \quad (6)$$

где  $f$  – частота тока в сети;  $W_{\text{МТТ}}$   $Q_{\text{МТТ}}$  и – число витков в обмотке МТТ и площадь витка.

### Результаты и обсуждение

Экспериментальная проверка возможностей этого метода проводилась на трансформаторе ТТ-6 в режиме холостого хода. Геометрические размеры этого трансформатора, необходимые для моделирования ЭДС в МТТ приведены в таблице. В качестве МТТ использовалась катушка от промежуточного реле с числом витков  $W_{\text{МТТ}} = 13500$  и площадью витка равной  $5,04 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  При этом полученные расчетным путем и экспериментально значения ЭДС от МТТ при протекании тока холостого хода  $I_x = 0,107\text{А}$  по первичной обмотке одной из катушек трансформатора с числом витков 146 составило 0,079В и 0,088В соответственно. Таким образом, использование для моделирования магнитных полей рассеяния и ЭДС МТТ метода сеток позволяет рассчитать их с погрешностью, которая не превышает 10%. Что соизмеримо с погрешностью измерения традиционных трансформаторов тока.

Таблица. Размеры расчетной зоны для трансформатора ТТ–6

Размеры расчетной зоны	Величина
Высота расчетной зоны $H$ , мм	140
Ширина расчетной зоны $T$ , мм	65
Координата «у» места расположения МТТ, мм	32,5
Координата «z» места расположения МТТ, мм	70
Размеры обмотки на стержне 2 (зона b) $y_b \times H$ , мм	14 × 144
Размеры обмотки на стержне 3 (зона c) $y_c \times H$ , мм	14 × 144
Расстояние между узлами $h$ , мм	5
Число клеток сетки $m$ по горизонтали, шт	13
Число клеток сетки $n$ по вертикали, шт	28

### Выводы

Для моделирования магнитных полей между стержнями трансформатора и ЭДС в обмотке магнитного трансформатора в наибольшей степени подходит метод сеток в связи с тем, что он прост и позволяет учитывать одновременно все источники магнитного поля.

Метод сеток позволяет рассчитывать магнитные поля между стержнями трансформатора ТТ-6, а так же ЭДС в обмотке магнитного трансформатора тока, располагающегося между ними, с погрешностью равной 10%.

Это исследование было профинансировано Министерством Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (грант № AP14972779).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Энергетика СССР в 1986–1990 годах [Текст] / Под ред. А.А. Троицкого. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 310с.
- 2 **Чернобровов, Н. В.** Релейная защита. – 4-е издание [Текст] / Чернобровов Н.В. – Москва : Энергия, 1974. – 680 с.
- 3 **Засыпкин, А. С.** Релейная защита трансформаторов [Текст] / Засыпкин А.С. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 240с.
- 4 Федосеев, А. М. Релейная защита электрических систем. – М. : Энергия, 1976. – 559 с.
- 5 **Novozhilov, A. N., Kolesnikov, E. N., Novozhilov, T. A., Kudabaev, D. A.** Simulation of fault-to-ground currents in the winding of an asynchronous motor stator in a network with insulated neutral // Russian Electrical Engineering. 2013. N. 84 (2). С. 89–93.
- 6 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Volgina, E. M., Kolesnikov, E. N.** et al. Magnetic field scattering of a transformer winding on a round rod for a safety relay // Russian Engineering Research. – 2020. – № 9. – P. 710–714.
- 7 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. – Москва : Высшая школа, 1967. – 775 с.
- 8 **Гринберг, Г. А.** Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений. – Москва : АН СССР, 1948. – 836 с.
- 9 **Вольдек, А. И.** Основы методики расчета магнитных полей лобовых обмоток электрических машин. – Электричество, 1963, № 1.
- 10 **Новожилов, А. Н., Воликова М. П.** Коррекция токов в методе зеркальных отражений при моделировании магнитных полей электрических машин. – Электричество, 2004, № 9.

### REFERENCES

1. Energetika SSSR v 1986–1990 godah [Power engineering of the USSR in 1986–1990] [Text] / Edited by A. A. Troitsky. – Moscow : Energoatomizdat, 1987. – 310 p.
2. **Chernobrov, N. V.** Releynaya zaschita [Relay protection]. – 4th edition [Text] / Chernobrov N. V. – Moscow : Energia, 1974. –680 p.
3. **Zasypkina, A. S.** Releynaya zaschita transformatorov [Relay protection of transformers] [Text] / Zasypkina A. S. – Moscow : Energoatomizdat, 1989. – 240 p.

4. **Fedoseev, A.M.** Releynaya zaschita energeticheskikh system [Relay protection electrical systems]. – Moscow : Energiya, 1976. – 559 p.
5. **Novozhilov, A. N., Kolesnikov, E. N., Novozhilov, T. A., Kudabaev, D. A.** Simulation of fault-to-ground currents in the winding of an asynchronous motor stator in a network with insulated neutral // Russian Electrical Engineering. 2013. N. 84 (2). P. 89–93.
6. **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Volgina, E. M., Kolesnikov, E.N.** et al. Magnetic field scattering of a transformer winding on a round rod for a safety relay // Russian Engineering Research. – 2020. – No. 9. – P. 710–714.
7. **Bessonov, L. A.** Teoreticheskie osnovi elektrotehniki [Theoretical foundations of electrical Engineering]. – Moscow : Higher School, 1967. – 775 p.
8. **Grinberg, G.A.** Izbrannie voprosi matematicheskoi teorii elektricheskikh I magnitnih yavleniy [Selected questions of the mathematical theory of electric and magnetic phenomena]. – Moscow : USSR Academy of Sciences, 1948. – 836 p.
9. **Voldek, A. I.** Osnovi metodiki rascheta magnitnih polei lobovih obmotok elektricheskikh mashin [Fundamentals of the method of calculating magnetic fields of frontal windings of electric machines]. – Electricity, 1963, No. 1.
10. **Novozhilov, A. N., Volikova M. P.** Korrekciya tokov v metode zerkalnih otrajeniui pri modelirovanii magnitnih polei elektricheskikh mashin [Correction of currents in the method of mirror reflections in modeling magnetic fields of electric machines]. – Electricity, 2004, No. 9.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*Е. Н. Колесников<sup>1</sup>, А. Н. Новожилов<sup>2</sup>, Д. М.

Рахимбердинова<sup>3</sup>, Т. А. Новожилов<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>4</sup>Омбы Мемлекеттік Техникалық Университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

### ӘҚМ ҚУАТ ТРАНСФОРМАТОРЫНЫҢ ӨЗЕКТЕРІНІҢ АРАСЫНДА ОРНАЛАСҚАН МТТ-НЫҢ ТҮНБАЛАРЫ

*Электр энергетикасындағы ең маңызды құрылыстардың бірі-бір фазалы және үш фазалы қуат трансформаторлары. Сонымен қатар, қуат пен кернеу класына қарамастан, олардағы ең сенімсіз элементтердің бірі - орамалар, ал орамалардың жиі кездесетін электрлік зақымдануы-айналмалы тұйықталу. Дегенмен, ток трансформаторларында дәстүрлі түрде қолданылатын*

*трансформаторлық қорғаныстар бұрылыс түйықталуларына төмен сезімталдыққа ие.*

*Магниттік ток трансформаторларын (МТТ) қолдана отырып, үш фазалы үш орамалы трансформаторлардың қорғанысын әзірлеу және іске асыру үшін осы катушкалардың магниттік шашырау өрістерінің кеңістікте таралуы туралы ақпарат болуы керек. Дөңгелек итанғаның айналасындағы шашыраудың магнит өрістерін модельдеу әдістері белгілі. Алайда, қорғауды жүзеге асыруда МТТ-ның болжамды орындарының бірі оның трансформатордың өзектері арасында орналасуы болып табылады. Мақалада осы жерде орналасқан МТТ орамасында индукцияланған ЭҚК мәнін есептеу әдісі ұсынылған.*

*Шашыраудың магнит өрісін модельдеу тор әдісімен (ақырлы айырмашылықтар) ұсынылады. Ол үшін есептелген аймақ  $h$  қадамымен тікбұрышты торға бөлінеді. яғни үздіксіз аргумент аймағы нүктелердің ақырлы жиынымен ауыстырылады. Осылайша, әдіс Пуассон теңдеуінің туындыларының орнына дифференциалдық жуықтауларды қарастырады. Магниттік потенциалды сандық түрде анықтау дербес компьютерлердің (ДК) көмегімен Итерация әдісі бойынша жүзеге асырылады*

*Кілтті сөздер: үш орамалы трансформатор, магнит өрісін модельдеу, трансформатор орамдары, МТТ электр қозғаушы күші, тор әдісі.*

\*E. N. Kolesnikov<sup>1</sup>, A. N. Novozhilov<sup>2</sup>, D. M. Rakhimberdinova<sup>3</sup>, T. A. Novozhilov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

<sup>4</sup>Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk

Material received on 15.12.22

## **SIMULATION OF THE EMF OF A MCT LOCATED BETWEEN THE RODS OF THE CORE OF A POWER TRANSFORMER**

*One of the most important devices in the electric power industry are single-phase and three-phase power transformers. At the same time, one of the most unreliable elements in them, regardless of power and voltage class, are windings, and the most common electrical damage to the windings is a winding circuit. However, traditionally used transformer protections on current transformers have a low sensitivity to winding circuits.*

*To develop and implement protections for three-phase three-winding transformers using magnetic current transformers (MTT), it is necessary to*

*have information about the distribution of the magnetic fields of scattering of these coils in space. Methods of modeling magnetic scattering fields around a round rod are known. However, one of the proposed locations of the MTT when implementing protection is its location strictly between the transformer rods. The article proposes a method for calculating the effective value of the EMF induced in the MTT winding located at this location.*

*Modeling of the scattering magnetic field is proposed to be carried out using the method of grids (finite differences). To do this, the calculated area is divided into a rectangular grid with a step  $h$ . That is, the area of the continuous argument is replaced by a finite set of points. Thus, the method considers difference approximations instead of derivatives of the Poisson equation. The magnetic potential is determined numerically by the iteration method using personal computers (PCs)*

*Keywords: three-winding transformer; modeling of magnetic fields, transformer windings, electromotive force MCT, grid method.*

[doi.org/10.48081/KYSD9304](https://doi.org/10.48081/KYSD9304)

**\*М. Ж. Қалдарова<sup>1</sup>, А. С. Аканова<sup>2</sup>, Н. М. Кашкимбаева<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

## **АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖЕРЛЕРІНІҢ ЕГІС АЛҚАПТАРЫН СЕГМЕНТТЕУДЕ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІНІҢ U-NET ARCHИТЕКТУРАСЫНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ**

*Жұмыстың зерттеу нысаны ауылшаруашылық жерлерінің егіс алқаптарын анықтауда ғарыштық суреттерді сегменттеу болып табылады, қазіргі уақытта қарқынды дамуда. Бұл жұмыста қашықтықтан зондтау нәтижесінде алынған ғарыштық (спутниктік) суреттерді сегменттеу арқылы ауылшаруашылық жерлерінің егістік алқаптарын бақылау қарастырылған. Сегменттеудің негізгі әдісі ретінде нейрондық желі, қате функциясы ретінде Intersection Over Union функциясы енгізілген модификацияланған U-net архитектурасы алынған. RGB и NIR арналары үшін орталық блокта біріктірілген екі кодтау блогы пайдаланылды. Intersection Over Union функциясын пайдалану сегменттеу жағдайында нақтырақ мәліметтер алуға көмектеседі және анықтау коэффициенті жоғарылайды. Бастапқы U-net архитектурасына қосымша қабат ретінде Intersection Over Union функциясын қосу ғарыштық суреттердің көмегімен егістік алқаптары жайлы ақпарат және олардың негізгі шекараларын, яғни әр алқаптың белгіленген шекарасын сызып көрсетуге мүмкіндік береді. Бастапқы берілген белгіге сәйкес қиылысу-бұл белгілі бір мәліметтер жиынтығындағы тиісті нысандарды анықтау дәлдігінің өлшемі. Әдетте бұл әдісті HOG + Linear SVM және детекторлы конвуляцияланған нейрондық желілерде (R-CNN, Faster R-CNN, YOLO т.б.) қолданылады. Біздің жағдайымызда U-net архитектурасына қосымша қабат ретінде енгізіп егістік алқаптарын және олардың шекарасын анықтадық.*

*Кілттік сөздер: U-net архитектурасы, алгоритм, сегменттеу, қашықтықтан зондтау, нейрондық желі, машиналық оқыту.*

### **Кіріспе**

Ғарыштық суреттерді сегменттеу бағыты қарқынды дамуда қазіргі замандағы ғарыштық суреттерді зерттеу саласындағы мәселенің бірі болып табылады. Яғни бұл мәселені шешуде әр-түрлі нейрондық желілердің архитектуралары пайдалануда. Көп кездесетін U-net архитектурасын қолданып, пайдалы жер қазбаларын анықтау [1], су алқаптарын анықтау [2], ормандарды анықтау бағыттары қарастырылған [3]. Бірақ бұл архитектура қазіргі таңда егістік алқаптары үшін толық қаралмаған. Себебі егіс алқаптарын анықтауда әр бір алқаптың шекарасын анықтау, барлық алқаптардың бірдей болуына байланысты анықтау мүмкіндігі өте төмен. Сол себептен осы зерттеу барысында U-net архитектурасына қосымша қабаттар енгізу арқылы олардың дәлдігін жоғарлату қарастырылды.

Ғарыштық суреттер географиялық ақпараттарды таңдау маңызды роль атқарады. Ал компьютерлік көрудің негізгі міндеттерінің бірі ол суреттің дұрыс сегментациялануы. Бұл ақпарат заңдылығын дұрыс түсіну үшін қажет. Дұрыс жасалған сегментация суреттің әрбір бөлігі туралы ақпараттың талдауын жеңілдетеді. Сегментациялаудың қазіргі заманауи әдістерінің негізі бұл нейрондық желілерді қолдану. Инженерия және ауылшаруашылық бағытында (CNN) нейрондық желілер жерді қашықтықтан зондтау технологиясы негізінде ақпараттарды алуға маңызды роль атқарады [4]. CNN өте күрделі кеңістіктік сипаттамаларды және бірнеше деңгейлік үлкен ақпараттарды алуға мүмкіндік береді. Ауылшаруашылық жерлерінің егіс алқаптарының нақты сызбаларын да осы CNN-нің белгілі бір архитектурасын таңдап анықтауға болады. CNN бірнеше қабаттан тұратын нейрондық желі. Дегенмен, CNN жер жамылғысын жіктеуге арналған қосымшаларын қолдану егістік алқаптарының анық емес шекараларын анықтау мүмкіндіктерін, сондай-ақ деректерді дайындаудағы үлкен алшақтық негізгі шектеу болуы мүмкін және кеңістіктік сипаттамаларда әсер етеді.

Бұл зерттеу жұмысының мақсаты U-Net архитектурасы негізінде нейрондық желіні тұрғызып, оны қолдану арқылы бірнеше жылдардағы егіс алқаптарын салыстыру болып табылады.

Мақсатқа жету барысында келесі міндеттер орындалады:

- U-Net архитектурасын қолдану туралы зерттеу жұмыстарына шолу;
- U-Net архитектурасына қателік функциясын енгізіп, модификациялау, оқыту және оны сегменттеуде қолдану.

Көрсетілген [3] жұмыста жоғары ажыратымдылықтағы ғарыштық (спутниктік) суреттер негізінде жеке ағаштарды тану үшін U-Net архитектурасын пайдалану мәселесі қарастырылған. Аралас ормандар үшін терең оқыту тәсілдері қолданылды.

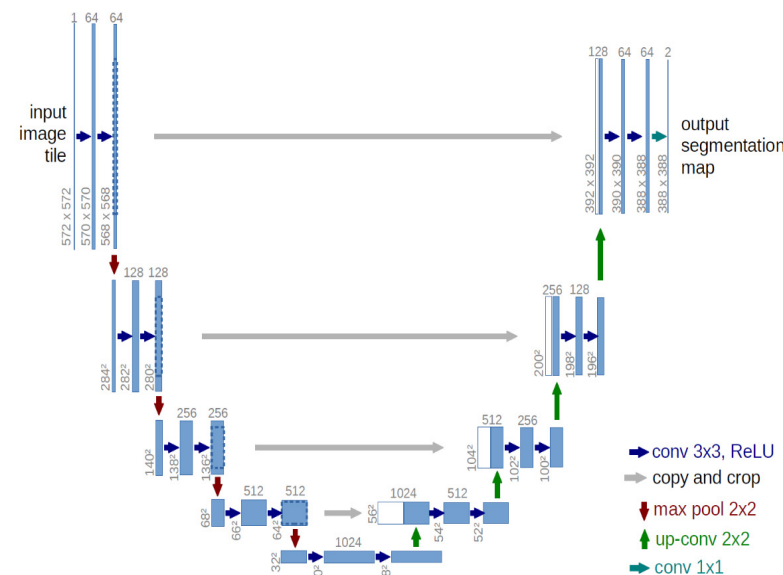
Ғалымдардың зерттеулерінде ғарыштық (спутниктік) суреттерді пайдалана отырып, көшкін аймақтарын анықтау және кескінге негізделген сегменттеуді, деректерге негізделген екі кезеңді құрылымды қарастырылады [5]. Үлкен өлшемді ғарыштық суреттердегі объектілерді және кең ауқымды көшкіндердің оранласқан жерін анықтау үшін Faster-RCNN алгоритмі және U-Net көмегімен сегменттеу өнімділігін жақсарту мақсатында анықталған әрбір көшкінінің жиегі туралы ақпаратты анықтау үшін жиекті анықтау алгоритмі қолданылған.

ROI тиімділігі негізінде егіс алқаптарының бар жоқтығын анықтайтын және белгілі бір кезеңде өңделген/өңделмеген егіс алқаптарын анықтау және оқыту моделін құру үшін кездейсоқ орманды технологиясы және U-Net алгоритмі пайдаланылған. Нақты қызығушылық тудырған аймақты анықтау үшін 18 жылдық Sentinel-2 кескіндерінің кең жинағы қиынды кескін маскарларымен пайдаланылды. Белгілі бір кезеңде жер жамылғысын анықтау үшін пикселдер деңгейінде сегменттеуде қолданылатын класстар негізінде жіктеу жасалған [6]. Көрсетілген жұмыста [7] деректерді тиімді таңбалау және Mask-RCNN моделін оқыту үшін белсенді оқытуды (AL-RASA) біріктіретін әдістерді қолдану мәселесі қарастырылады. Бұл модельдер U-Net үлгісінің құрамына кіреді. Ажыратымдылығы жоғары ғарыштық (спутниктік) суреттерден алтын барлау алаңдарын U-Net көмегімен сегменттеу әдісі қарастырылып Амазонка аймағында қолданылады [1]. Кескіндердегі ғимараттар мен құрылыстарды ерекшелендіру алгоритмі мультипликациялық спутниктік бейнелеуде саласында қолданылған [8]. Екі кодтауышпен U-Net конволюционды нейрондық желінің архитектурасының модификациясы қолданылды. Машиналық оқытудың k-орташа ең жақынын анықтау алгоритмі от жалынын анықтау үшін сегменттеуде U-net архитектурасын далалы және орманды алқаптарда өрт қауіпсіздігінің алдын алу мақсатында өрт басталған жерлерді анықтауда қолданылған [9]. Машиналық оқыту көптеген салалардағы зерттеулерде қолданылған, мысалы, зиянкесті арамшөптерді анықтау барысында K-NearestNeighbors, RandomForest және DecisionTree алгоритмдері пайдаланылған [10]. Бұл зерттеудің нәтижесінде ауыл шаруашылық алқаптарына арналған бағдарламаларда ұсынылған. Алайда U-Net нейрондық желі көмегімен ажыратымдылығы төмен арамшөп кескіндерінің жақсы жіктелу нәтижелерін алуға болатын еді. Бірақ ол бағыт бұл жұмыста қарастырылмаған.

Осылайша, зерттелген ғылыми дереккөздер U-Net архитектурасын арнайы егістік алқаптарының шекарасын анықтау үшін пайдаланылмағанын көрсетті, бұл қазіргі уақытта ауыл шаруашылығы саласындағы аналитикалық жүйені әзірлеуде өзекті мәселе болып табылады.

## Материалдар мен әдістер

Әрине семантикалық сегменттеу – жан-жақты зерттелген мәселе. Конволюциялық желілер пайда болғалы ол негізінен нейрондық желілерді қолдану арқылы шешіледі. Суреттерді сегментациялауың кең таралған бірнеше әдістері мен модельдері бар. Суреттерді бинарлы сегментациялауға U-Net архитектурасын қолдану жақсы нәтиже береді. Осы зерттеу жұмысында модификацияланған белгілі U-Net архитектурасы қолданылды [11].



Сурет 1 – Нейрондық желінің U-Net архитектурасы [9]

Негізгі U-Net кодтау және декодтау бөлімдерінен тұрады. Кодтау бөлімінің өзі бес блоктан тұратын конволюциялық нейрондық желі: әрбір блогы  $3 \times 3$  өлшемдегі фильтрлі екі конволюциялық қабаттан тұрады, әрбір қабатқа қолданылатын белсендіру ReLU функциясынан және әрбір  $2 \times 2$  өлшемді төмендету қабаты бар batch normalization функциясы енгізілген қабаттан тұрады. Декодтауда кодтау секілді бес блоктан тұрады: әрбір  $2 \times 2$  өлшемді жоғарлату қабаты, кодтау белгілеріне сәйкес біріктіру қабаты,  $3 \times 3$  өлшемдегі фильтрлі екі конволюциялық қабаттан және әрбір қабатқа қолданылатын белсендіру ReLU функциясынан және максималды біріктіру (max pooling) қабаттарынан тұрады. Соңғы қабат суретті пиксель деңгейінде жіктеу үшін сигмаидты белсендіру функциясын қолданады [12].

Зерттеу барысында U-Net архитектурасын одан әрі модификациялау арқылы оны негіз ретінде пайдалану, қате функциясы ретінде Intersection Over Union функциясы енгізілген архитектура қолданылды. RGB и NIR арналары үшін орталық блокта біріктірілген екі кодтау блогы пайдаланылды. Соңғы нейрондық желі 47 конволюциялық, 47 белсендіру ReLU функциясынан, 47 қалыпқа келтіру операциясынан, 10 дискретизацияны жоғарлату амалынан, 5 дискретизацияны төмендету амалынан, 1 сигмаоидты белсендіру функциясынан және 11 біріктіру операциясынан тұрды.

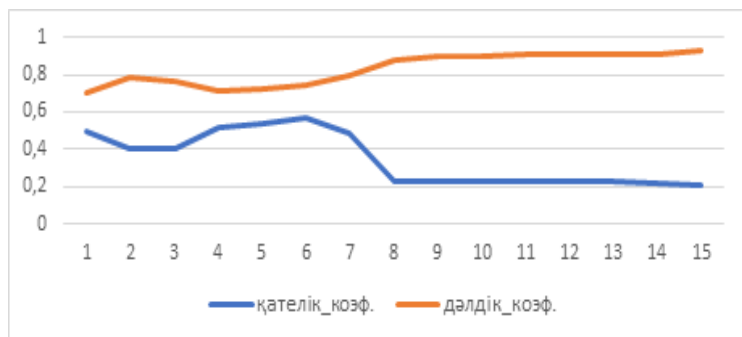
Сегменттеу кезінде ғарыштық суреттердегі барлық пикселдердің маңызы зор, кейбір пикселдер масканы сипаттауда негізгі рөл атқарады. Мұндай маскалық мәселелер қайта қалпына келтіру блогында жүзеге асырылады [13]. Қайта қалпына келтіру блогының соңғы қабаты келесі формулада көрсетілген сигмаоидты белсендіру функциясы.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (1)$$

Сигмаоидтың қабылдайтын мәні (0,1) аралығы.

Бұл жұмыста ұсынылып отырған екі сатылы кодтаушы элементі қосылған желі кескіндерді сегменттеуде үлкен рөл атқарады. Бірінші кезең бірнеше кеңейтілген конволюциялық қабаттастырылған қабаттар толық ажыратымдылықпен кодтайды, ал екінші кезең желідегі қабылдау өрісін арттыру үшін біріктіру қабаттарын пайдаланатын мүмкіндіктерді жылдам төмендетеді.

Желіні оқыту 15 деңгейлік түрде суретті ұлғайтусыз жүргізілді. Келесі 2 суреттегі график сынақ жиынындағы дәлдік және қателік мәндерін көрсетеді.

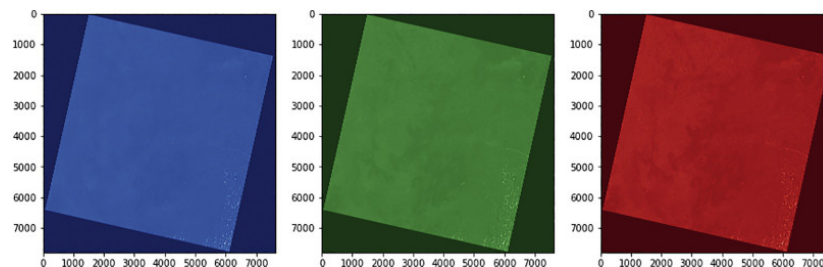


Сурет 2 – Сынақ жиынындағы дәлдік және қателік мәндері

Көрсетілген графиктен дәлдік мәні оқыту деңгейін жоғарлатқан сайын нақтырақ мән алуға болатынын, яғни мәннің 1-ге жақындаған сайын мән нақтырақ болатынын байқауға болады. Ал қателік мәні де оқыту деңгейі көбейген сайын (эпоха саны) азаятындығы көрсетілген.

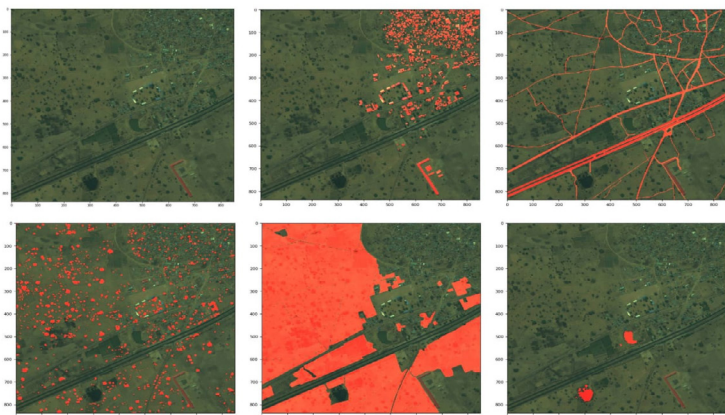
Оқытылған деректер жиынтығы SpaceNet деректер жиынынан алынған 8 каналды ғарыштық суреттер. Суреттер көлемі 28 км болатын бірнеше жергілікті жерлердегі егістік алқаптарын көрсететін 10980x10980x3 кеңейтіліміндегі 24 суреттен тұратын tiff файл түрінде сақталған. Ғарыштық суреттердің ажыратымдылығы 16 бит, ал файлдар маскасы 8 биттік. Суреттер 23x23 өлшемінде егіс алқаптары мен өңделмейтін жерлерге белгі қою мақсатында бірнеше сегменттерге қиындыланған.

Python және gdal кітапханалары көмегімен кескіндер 3- суреттегідей RGB пішімге түрлендіріледі.



Сурет 3 – Ғарыштық суреттер қиындысының көк, жасыл және қызыл жолақ түрінде белгіленуі

Деректерді дайындаудың келесі кезеңі қалыпқа келтіру жүргізілген 0-ден 1-ге дейінгі мәндер диапазонында бастапқы жарықтық мәндерін қайта есептеу болды. Қолданылған алгоритмінің арнадағы (каналдағы) максималды мәнге дейін және арнадағы орташа жарықтық мәнін анықтау мақсатында U-net архитектурасына енгізу. Архитектураның бірінші жұмысы кескіндерден алдын ала ауылшаруашылық алқаптарындағы жолдар мен қолданыстағы жерлердің негізгі сызбаларын көрсетті және максималды мәнмен нормаланған SpaceNet кескіндерінде жақсы нәтижелерге қол жеткіздік (4-суреттер). Өкінішке орай, дәлдік коэффициенті қолданылған суреттер мен кескіндер сапасына да байланысты. Қазіргі кезде жыл мезгіліне байланысты немесе үлкен көлемдегі суреттерді алу коммерциялық бағытта болғандықтан, бұл жұмыста тегін түрде жүктеп алынатын Sentinel -2 спутнигінен және SpaceNet базасынан алынған кескіндер қолданылды.



Сурет 4 – Сегменттеу кезінде кескіндердегі объектілерді анықтау этаптары

Зерттеудің әрбір кезеңінде жерлерді салыстыру және анықтау белгілері нақтылана түсті. Intersection Over Union функциясын U-net архитектурасына қосымша қабат ретінде енгізіп, ғарыштық суреттердің көмегімен егістік алқаптары жайлы ақпарат және олардың негізгі шекараларын, яғни әр алқаптың белгіленген шекарасын сызып көрсетуге мүмкіндік беретін сегменттеу нәтижесін алуға тырыстық. Суреттерді нақты кескіндерге бөліп олардың бастапқы берілген белгіге сәйкестігі анықталды. Берілген суреттерден алдын-ала болжанған шектеуші жақтауды алып, оларды 5-суреттегідей сценарийге кодтадық.

```

1 def bb_intersection_over_union ( boxA, boxB ) :
2     # анықтаймыз (x, y)-координаттар
3     xA = макс ( boxA [ 0 ], boxB [ 0 ] )
4     yA = макс ( коробка A [ 1 ], коробка B [ 1 ] )
5     xB = мин ( коробка A [ 2 ], коробка B [ 2 ] )
6     yB = мин ( коробка A [ 3 ], коробка B [ 3 ] )
7     # қиылысу аумағын есептейміз
8     interArea = макс ( 0 , xB - xA + 1 ) * макс ( 0 , yB - yA + 1 )
9     boxAArea = ( boxA [ 2 ] - boxA [ 0 ] ) * ( boxA [ 1 ] + 1 )
10    boxBArea = ( boxB [ 2 ] - boxB [ 0 ] ) * ( boxB [ 1 ] + 1 )
11    # биригу бойынша қиылысудан ала отырып есептеу
12    # анықталған ауданды болжанған аудандардың суммасына болу
13    # area - қиылысу ауданы
14    iou = interArea / float ( boxAArea + boxBArea - interArea )

```

Сурет 5 – Intersection Over Union функциясының қолданылуы

Бұл әдіс екі параметрді қажет етеді: А қорабы және В қорабы, олар біздің шынайы және болжамды шектеуші жақтауымыз болып табылады (бұл параметрлердің нақты тәртібі bb\_intersection\_over\_union- да ұсынылады. Зерттеудің 1-кезеңінде сегменттеу барысы тек көлемі жағынан үлкен болып келетін және көрсетілген жердегі бір-бірінен айырмашылығы бар объектілерді анықтады. 3-6 жолдар қиылысу тіктөртбұрышының координаттарын (x, y) анықтайды, содан кейін біз қиылысу ауданын есептеу үшін 8 жолды қолданамыз. interArea ауданаралық айнымалы енді Intersection Over Union есептеуіндегі алымды білдіреді. Бөлгішті есептеу үшін алдымен алдын-ала болжанатын шектеуші жақтаудың да, жердегі шектеуші жақтаудың да ауданын алу керек (9 және 10 жолдар). Соңында, Intersection over Union функциясының мәні қайтарылады. Осы функцияны пайдаланып көру үшін HOG + Linear SVM детекторынан шектеуші жақтаудың болжамды координаттарын алдық. Бұл болжамды шектеу шеңберлері 4 суреттің бірінші және үшінші кезең аралығында көрінген.

2 – кезеңде салыстыру мәндері нақтылана түсіп, егіс алқаптары анықтала бастады және оларды да қызыл нүктелермен белгілеп көрсетті. Бұл белгілеулер суреттің бастапқы мән кезінде қойылған белгілеулерге сәйкес келетінін көрсетеді. Бұл кезеңнен кейін суреттердің анықталған нүктелері жоғала бастайды оны қайта қалыпқа келтіру, яғни белсендіру мақсатында ReLU -функциясы қолданылды. Сурет бірнеше кезеңнен өткен соң өз сапасын жоғалтуы қалыпты жағдай. 3-кезеңде жолдық нақты сегменттелген аумағы анықталды. 4-кезеңде жол айналасындағы егістік алқаптары сегменттеле бастады. Соңғы кезеңде жол мен егіс алқабын бір-бірінен ажыратып көрсетті. Оларды қызыл нүктелермен белгілеп көрсетті.

Бұл құжатта болжамды сегменттеу маскелерін және жол жиектерін анықтауда қолданылатын маскелер пайдаланылды. Қалыпты жағдайда жердің әртүрлі құрылымды болатыны, олардың ерекшеліктерін, ауа-райының әсерін ескерсек суреттерді талдау біраз қиындықтар тудыруы мүмкін. Алайда қолданылып отырған алгоритм көмегімен суреттердегі шу кедергілерінсіз қажетті нәтижелерге қол жеткізуге болады [14].

Ажыратымдылығы жоғары кескіндерді пайдалану идеясы сегменттеуде қазірдің өзінде белгілі шешім болып табылады. Бұл зерттеу осы мәселелермен күресу жолын ұсынады. Дегенмен, бұл әдіс мәселені шешу жолында жады көлемі үлкен суперкомпьютерлерді қолдану қажеттілігін көрсетеді.

Қашықтықтан зондтау арқылы жерлерді сегменттеуде таңбаланған деректер жиындары әдетте өлшемі бойынша кішкентай, сондықтан солай таңбаланбаған деректерді пайдалану үшін жартылай бақылаудағы оқытуды қарастыру орынды. Біздің генеративті желідегі кодтау мүмкіндіктері және жиектерді генерациялау әдістері бақыланып отырған объектілер үшін тамаша

мүмкіндік. Оның оқытылған дайын желілерді басқа бағытта да пайдалануға болады.

### Нәтижелер мен талқылау

Оқытылатын параметрлер саны көп нейрондық желілерді оқыту кезінде қайта оқуды болдырмау үшін үлкен мәліметтер жиынтығының болуы маңызды. Қолданыстағы бар деректерді пайдаланып, деректер жиынтығының үлгілер санын көбейту қажет, яғни дәлдік мәндерінің нақты болуы үшін. 5 суретте қолданған деректердің сегменттелген кескіні көрсетілген.



Сурет 6 – Жол мен егістік алқаптарының сегменттелген кескіні

Осы зерттеу нәтижесінде U-Net архитектурасын қолдану туралы зерттеу жұмыстарына шолу жасалып, оның қазба байлықтарын, су алқаптарын, ормандарды өрт шалған жағдайда өрттің өршу шекарасын анықтау барысында қолданылғандары белгілі болды. Көрсетілген зерттеулер U-net архитектурасын ғарыштық суреттерді сегменттеуде шекара нүктелерін анықтаудағы қолданысы толық ашылмаған, яғни архитектураны модификациялау арқылы (белгілі қабаттармен толықтыру) шекара нүктелерін де, анықтау аймағы туралы да толық мәлімет алуға болатындығы қарастырылмаған. Осы мәліметтерді ескере отырып, біздің жағдайымызда U-Net архитектурасын модификациялау арқылы ғарыштық суреттерді сегменттеу барысында егістік алқаптарының қолданылуы, шекарасын анықтау нәтижесіне қол жеткіздік

U-Net архитектурасына қателік функциясы енгізіліп нәтижесінде қате 0,2345 тең болды, ал дәлдік 0,8123 тең болды. Соңғы қолданылған нейрондық желі 47 орама қабаттан, 47 белсендіру ReLU функциясынан, 47 қалыпқа келтіру операциясынан, Intersection Over Union функциясынан, 10 дискретизацияны жоғарлату амалынан, 5 дискретизацияны төмендету амалынан, 1 сигмаидты белсендіру функциясынан және 11 біріктіру операциясынан тұрды. Ғарыштық суреттерді сегменттеу нәтижесінде жол мен егістік алқаптарын бірбірінен ажырата алатындай және олардың шекараларын анықтай алатындай мәліметке ие болдық.

### Қорытынды

1 U-Net архитектурасын қолдану туралы зерттеу жұмыстарына шолу үшін әлемдік ғылыми зерттеулер қарастырылды. Зерттеу нәтижесінде U-Net архитектурасы ауылшаруашылық саласындағы көптеген жағдайлардың деректері оқытылса да, егістік алқаптарының шекарасын сегментациялау деректері егістік көлемін анықтау үшін қолданылмаған.

2 U-Net архитектурасына жинақталған деректер оқытылып қателік функциясы мен нақтылаудың нәтижесінде модификацияланған U-Net нейрондық оқыту процесі және 8 арналы(каналды) ғарыштық суреттерді сегменттеу алынды.

### ПАЙДАЛЫНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Boaro, J. M. C., Santos, dos P. T. C., Serra, A., Rego, V. G., Martins, C. V. и Júnior, G. B.** *Satellite Image Segmentation of Gold Exploration Areas in the Amazon Rainforest Using U-Net //2021 IEEE International Humanitarian Technology Conference (IHTC)*. – IEEE, 2021. – P. 1–8. doi: 10.1109/IHTC53077.2021. 9698927

2 **Курганович, К. А., Шаликовский, А. В.** Использование сверточных нейронных сетей для анализа интенсивности освоения паводкоопасных территорий Забайкальского края по данным дистанционного зондирования [Текст] // Материалы XV международной научно-практической конференции и выставки «Чистая вода России». – 2019. – С. 122–127

3 **Korznikov, K. A., Kislov, D. E., Altman, J., Doležal, J., Vozmishcheva, A. S., Krestov, P. V.** Using U-Net-like deep convolutional neural networks for precise tree recognition in very high resolution RGB (red, green, blue) satellite images [Text] // *Forests*. – 2021. – Т. 12. – №. 1. – P. 66

4 **Neupane, B., Horanont, T., Aryal, J.** Deep learning-based semantic segmentation of urban features in satellite images: A review and meta-analysis [Text] // *Remote Sensing*. – 2021. – Т. 13. – №. 4. – P. 808



5 **Li, H., He, Y., Xu, Q., Deng, J., Li, W., Wei, Y.** Detection and segmentation of loess landslides via satellite images: A two-phase framework [Text] // *Landslides*. – 2022. – Т. 19. – №. 3. – P. 673–686.

6 **Kumar, S., Jayagopal, P.** Delineation of field boundary from multispectral satellite images through U-Net segmentation and template matching [Text] // *Ecological Informatics*. – 2021. – Т. 64. – P. 101370.

7 **Park, J., Li, S., Li, Z., Steven, X.** A Novel Active-Learning Based Residential Area Segmentation Algorithm [Text] // *2021 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Engineering Technology (CCET)*. – *IEEE*, 2021, – P. 96-100, doi: 10.1109/CCET52649. 2021.9544495.

8 **Хрящев, В. В., Приоров, А. Л., Павлов, В. А., Ларионов, Р. В.** Модификация архитектуры свёрточной нейронной сети U-Net в задаче сегментации мультисканальных спутниковых изображений [Текст] // *Цифровая обработка сигналов*. – 2019. – №. 3. – С. 39–45.

9 **Братухин, Д.** Сегментация пламени на изображении с использованием свёрточной нейронной сети U-Net [Текст] // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. – 2021. – №. 64. – С. 31-33.

10 **Бурибаев, Ж., Амиргалиева, Ж., Атаниязова, А., Мелис, З., Даулетия, Д.** Применение алгоритмов машинного обучения для классификации разновидностей сорных растений [Текст] // *Физико-математические науки*. – 2021. – Т. 75. – №. 3. – С. 83–93

11 **Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.** U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Text] // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*. Springer, LNCS. – 2015. – vol. 9351. – P. 234-241.

12 **Gulli, A., Pal, S.** Deep Learning with Keras [Text] // Packt Publishing. – 2017. – P. 320.

13 **Ghandorh, H., Boulila, W., Masood, S., Koubaa, A., Ahmed, F., Ahmad, J.** Semantic Segmentation and Edge Detection—Approach to Road Detection in Very High Resolution Satellite Images [Text] // *Remote Sensing*. – 2022. – Т. 14. – №. 3. – P. 613.

14 **Lian, R., Wang, W., Mustafa, N., Huang, L.** Road Extraction Methods in High-Resolution Remote Sensing Images: A Comprehensive Review [Text] // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2020. – Т. 13. – P. 5489–5507.

## REFERENCE

1 **Boaro, J.M. C., Santos, dos P.T.C., Serra, A., Rego, V. G., Martins, C. V. и Júnior, G.B.** *Satellite Image Segmentation of Gold Exploration Areas in the Amazon*

*Rainforest Using U-Net //2021 IEEE International Humanitarian Technology Conference (IHTC)*. – *IEEE*, 2021. – P. 1–8. doi: 10.1109/IHTC53077.2021.9698927

2 **Kurganovich, K. A., SHalikovskij, A. V.** Ispol'zovanie svortochnyh nejronnyh setej dlya analiza intensivnosti osvoeniya pavodkoopasnyh territorij Zabajkal'skogo kraja po dannym distancionnogo zondirovaniya [The use of convolutional neural networks to analyze the intensity of development of flood-prone areas of the Trans-Baikal Territory according to remote sensing data] [Text] // *Materialy XV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskogo simpoziuma i vystavki «CHistaya voda Rossii»*. – 2019. – P. 122–127

3 **Korznikov, K. A., Kislov, D. E., Altman, J., Dolezal, J., Vozmishcheva, A. S., Krestov, P. V.** Using U-Net-like deep convolutional neural networks for precise tree recognition in very high resolution RGB (red, green, blue) satellite images [Text] // *Forests*. – 2021. – Т. 12. – №. 1. – P. 66

4 **Neupane, B., Horanont, T., Aryal, J.** Deep learning-based semantic segmentation of urban features in satellite images: A review and meta-analysis [Text] // *Remote Sensing*. – 2021. – Т. 13. – №. 4. – P. 808

5 **Li, H., He, Y., Xu, Q., Deng, J., Li, W., Wei, Y.** Detection and segmentation of loess landslides via satellite images: A two-phase framework [Text] // *Landslides*. – 2022. – Т. 19. – №. 3. – P. 673–686.

6 **Kumar, S., Jayagopal, P.** Delineation of field boundary from multispectral satellite images through U-Net segmentation and template matching [Text] // *Ecological Informatics*. – 2021. – Т. 64. – P. 101370.

7 **Park, J., Li, S., Li, Z., Steven, X.** A Novel Active-Learning Based Residential Area Segmentation Algorithm [Text] // *2021 IEEE 4th International Conferece on Computer and Communication Engineering Technology (CCET)*. – *IEEE*, 2021, – P. 96-100, doi: 10.1109/CCET52649. 2021.9544495.

8 **Hryashchev, V. V., Priorov, A. L., Pavlov, V. V., Larionov, R. V.** Modifikaciya arhitektury svyortochnoj nejronnoj seti U-Net v zadache segmentacii mul'tikanal'nyh sputnikovyh izobrazhenij [Modification of the architecture of the convolutional neural network UNet in the task of segmentation of multichannel satellite images] [Text] // *Cifrovaya obrabotka signalov*. – 2019. – №. 3. – P. 39–45.

9 **Bratuhin, D.** Segmentaciya plameni na izobrazhenii s ispol'zovaniem svyortochnoj nejronnoj seti U-Net [Segmentation of the flame in the image using the convolutional neural network UNet] [Text] // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. – 2021. – №. 64. – P. 31–33.

10 **Buribaev, Zh., Amirgalieva, Zh., Atanyazova, A., Melis, Z., Dauletya, D.** Primenenie algoritmov mashinnogo obucheniya dlya klassifikacii raznovidnostej sornyh rastenij [Application of machine learning algorithms for classification of weed varieties] [Text] // *Fiziko-matematicheskie nauki*. – 2021. – Т. 75. – №. 3. – P. 83-93

11 **Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.** U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Text] // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). Springer, LNCS. – 2015. – vol. 9351. – P. 234–241.

12 **Gulli, A., Pal, S.** Deep Learning with Keras [Text] // Packt Publishing. – 2017. – P. 320.

13 **Ghandorh, H., Boulila, W., Masood, S., Koubaa, A., Ahmed, F., Ahmad, J.** Semantic Segmentation and Edge Detection—Approach to Road Detection in Very High Resolution Satellite Images [Text] // Remote Sensing. – 2022. – Т. 14. – №. 3. – P. 613.

14 **Lian, R., Wang, W., Mustafa, N., Huang, L.** Road Extraction Methods in High-Resolution Remote Sensing Images: A Comprehensive Review [Text] // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. – 2020. – № 13. – P. 5489–5507.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

*М. Ж. Калдарова<sup>1</sup>, А. С. Аканова<sup>2</sup>, Н. М. Кашкимбаева<sup>3</sup>*  
<sup>1,2,3</sup>Қазақстанның агротехнический университетінің атындағы С. Сейфуллина,  
Республика Қазақстан, г. Астана  
Материал поступил в редакцию 15.12.22.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ U-NET НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ СЕГМЕНТИРОВАНИИ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

*Объектом исследования работы является сегментация космических снимков при определении посевных площадей сельскохозяйственных угодий, которые в настоящее время интенсивно развивается. В данной работе предусмотрен мониторинг посевных площадей сельскохозяйственных угодий путем сегментации космических (спутниковых) изображений, полученных в результате дистанционного зондирования. В качестве основного метода сегментации взята нейронная сеть, модифицированная архитектура U-net, в которой в качестве функции ошибки реализована функция Intersection Over Union. Для каналов RGB и NIR использовались два блока кодирования, объединенных в центральный блок. Использование функции Intersection Over Union помогает получить более точные данные в случае сегментации, и коэффициент детализации увеличивается. Добавление функции Intersection Over Union в качестве дополнительного слоя к исходной архитектуре U-net позволяет с*

*помощью космических снимков отображать информацию о посевных площадях и их основных границах, т. е. обозначенных границах каждой долины. Пересечение по исходному заданному признаку является мерой точности определения соответствующих объектов в определенном наборе данных. Обычно этот метод используется в HOG + Linear SVM и детекторных конвективных нейронных сетях (R-CNN, Faster R-CNN, YOLO и т. д.). В нашем случае мы ввели архитектуру U-net в качестве дополнительного слоя и определили границы полей.*

*Ключевые слова: архитектура U-net, алгоритм, сегментация, дистанционное зондирование, нейронная сеть, машинное обучение.*

*М. Ж. Калдарова<sup>1</sup>, А. С. Аканова<sup>2</sup>, Н. М. Кашкимбаева<sup>3</sup>*  
<sup>1,2,3</sup>S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Astana  
Material received on 15.12.22

### USING THE U-NET ARCHITECTURE OF A NEURAL NETWORK WHEN SEGMENTING THE ACREAGE OF AGRICULTURAL LAND

*The object of the research is the segmentation of satellite images in determining the acreage of agricultural land, which is currently being intensively developed. In this work, monitoring of the acreage of agricultural land is provided by segmentation of space (satellite) images obtained as a result of remote sensing. The main segmentation method is a neural network, a modified U-net architecture, in which the Intersection Over Union function is implemented as an error function. For RGB and NIR channels, two coding blocks were used, combined into a central block. Using the Intersection Over Union function helps to get more accurate data in the case of segmentation, and the granularity coefficient increases. Adding the Intersection Over Union function as an additional layer to the original U-net architecture allows using satellite images to display information about the cultivated areas and their main boundaries, i.e. the designated boundaries of each valley. The intersection by the initial specified feature is a measure of the accuracy of determining the corresponding objects in a certain data set. This method is usually used in HOG + Linear SVM and convective neural network detectors (R-CNN, Faster R-CNN, YOLO, etc.). In our case, we introduced the U-net architecture as an additional layer and defined the boundaries of the fields.*

*Keywords: U-net architecture, algorithm, segmentation, remote sensing, neural network, machine learning.*

[doi.org/10.48081/ALVT9033](https://doi.org/10.48081/ALVT9033)

**\*А. В. Мануковский<sup>1</sup>, А. Б. Сағындық<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Торайғыров Университет, Республика Казахстан, г.Павлодар;

## **ВЫБОР ДАТЧИКОВ ТОКА ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*В мире в благоприятных с точки зрения обилия «зелёной энергии» местах успешно функционируют целые плантации солнечных и ветровых электростанций. В то же время, как показывает опыт длительной эксплуатации нескольких солнечно-ветровых электростанций (СВЭС) расположенных в городах, автоматика, управляющая их работой, не обеспечивает их долговременной стабильной работы в автоматическом режиме, что приводит к выходу из строя дорогостоящего оборудования. Поэтому проблема совершенствования алгоритмов, заложенных в контроллеры управления СВЭС, работающих совместно с источниками централизованного электроснабжения, до сих пор является актуальной. Для поиска путей совершенствования алгоритмов управления работой таких СВЭС, очевидно, необходим мониторинг и анализ ключевых параметров их работы в течение длительного периода. Цель настоящей работы – определение ключевых параметров, подлежащих мониторингу, и выбор принципов построения измерительных цепей. Для измерения токов в СВЭС Торайғыров университета (ТоУ) нужны датчики на токи в сотни Ампер, оказывающие минимальное влияние на силовые цепи. В статье предложена структурная схема построения беспроводного цифрового датчика, проведён обзор серийно выпускаемых первичных датчиков постоянного тока, кратко описаны их достоинства и недостатки, обоснована необходимость оцифровки их выходных сигналов, и выбраны конструкции, наиболее пригодные для практического использования на СВЭС ТоУ.*

*Ключевые слова: солнечно-ветровая электростанция, мониторинг параметров, АЦП, микроконтроллер, интерфейсы, датчики постоянного тока*

### **Введение**

В наши дни всё большую популярность приобретают возобновляемые источники энергии. В мире в благоприятных с точки зрения обилия «зелёной энергии» местах успешно функционируют целые плантации солнечных и ветровых электростанций. Их главными достоинствами являются экологическая безопасность и неисчерпаемость запасов природного «топлива».

Однако, как показывает опыт длительной эксплуатации в городских условиях солнечно-ветровых электростанций (СВЭС) небольшой мощности (10...50 кВт), оборудованных серийно выпускаемыми контроллерами управления, попытки применения стандартных алгоритмов автоматического управления в тех местах установки, где требуется сопряжение работы СВЭС с системой централизованного электроснабжения, приводят к отрицательным результатам. В частности, на СВЭС Инновационного Евразийского Университета (ИнеУ) и ТоУ с разными наборами оборудования и введенных в эксплуатацию разными фирмами в разные годы, систематически преждевременно выходили из строя аккумуляторные батареи – один из самых дорогих функциональных узлов СВЭС. В обоих случаях это приводило к полной потере работоспособности СВЭС. Многочисленность публикаций на тему совершенствования архитектуры и автоматизации управления работой СВЭС [1]–[6] ещё раз доказывает актуальность темы. Очевидно, что для поиска причин выхода из строя аккумуляторов и путей совершенствования алгоритмов управления СВЭС, установленных в населенных пунктах, необходимы объективные исходные данные, которые могут быть получены только в результате длительного (как минимум, на протяжении четырёх времен года) мониторинга и последующего анализа этих данных. Перед началом этого процесса следует определить ключевые параметры, подлежащие непрерывной фиксации на конкретной СВЭС. В качестве объекта исследования выбрана СВЭС на базе ТоУ (рисунок 1).

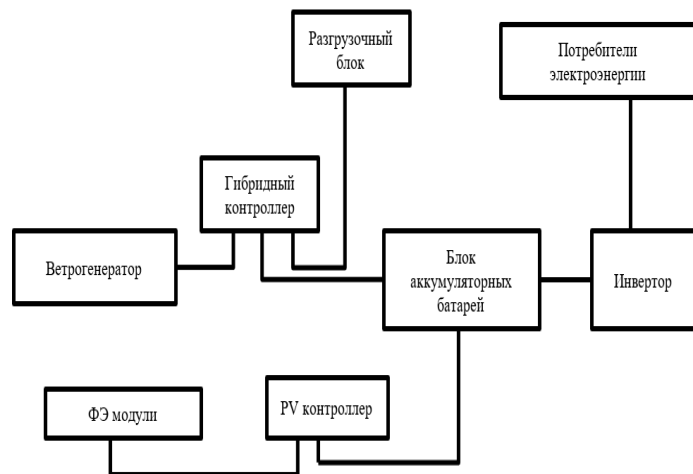


Рисунок 1 – Функциональная схема СВЭС ТОУ

В таблице 1 представлены ключевые параметры, выбранные нами для мониторинга в течение 4-х времен года.

Таблица 1 – Перечень ключевых параметров и измерительных приборов

Параметры	Наименование приборов
– ток от солнечных батарей; – ток от ветрогенераторов; – токи заряда и разряда аккумуляторной батареи.	Датчики постоянного тока
– напряжение солнечных батарей; – напряжение ветрогенераторов; – напряжение аккумуляторной батареи.	Измерительный орган напряжения с цепями сопряжения и защиты АЦП
– Уровень солнечной радиации.	Датчик уровня солнечной радиации
– Параметры направления и скорости ветра.	Датчик для измерения направления ветра и анемометр

### Материалы и методы

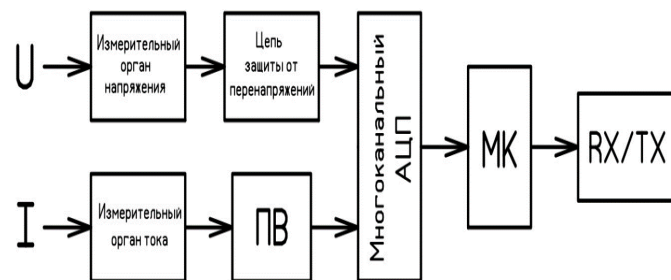
Осуществить сбор информации о текущих значениях ключевых параметров работы СВЭС непосредственно из штатных контроллеров

солнечных батарей и ветрогенераторов на практике не представляется возможным ввиду отсутствия информации от производителей указанного оборудования о применяемых для этого протоколах и способах входа в служебные меню. Кроме того, такой кажущийся очевидным способ не позволит измерить все необходимые для мониторинга параметры. Поэтому для сбора первичной информации необходимо установить дополнительные датчики, перевести их показания в цифровую форму и организовать регистрацию собранных данных. Перевод показаний в цифровую форму позволяет относительно просто решить сразу несколько задач:

- упростить передачу текущих показаний в центральный контроллер сбора данных за счёт использования беспроводной передачи с помощью цифровых приёмопередатчиков;
- уменьшить количество дополнительных проводов в аппаратной «Зелёной энергетике»;
- организовать регистрацию собранных данных;
- при необходимости легко скорректировать коэффициенты преобразования любых датчиков программным путём.

Оптимальный вариант решения вышеперечисленных задач – применение микроконтроллеров (МК) семейства Atmel AVR с встроенными АЦП. Использование МК ввиду наличия в их составе типовых аппаратных интерфейсов для обмена информацией упрощает также процессы записи и хранения текущих параметров и организацию передачи данных на расстояние без проводов, например, с целью гальванического отделения датчиков от силовой схемы СВЭС. Зарегистрированное таким образом изменение вышеперечисленных параметров во времени будет служить объективным исходным материалом как для анализа работы СВЭС в целом, так и для выявления недостатков управляющих алгоритмов.

Ввиду пространственной разнесённости ключевых точек во избежание «паутины» из проводов измерение напряжения и тока в каждой характерной точке целесообразно выполнять одним совмещённым беспроводным датчиком тока и напряжения, передающим собранные данные на головной контроллер. Такие датчики с возможностью кастомной настройки именно для нужд СВЭС ТоУ, могут быть построены по структурной схеме, показанной на рисунке 2.



ПВ – прецизионный выпрямитель;

МК – микроконтроллер;

RX/TX – приёмопередатчик (трансивер).

Рисунок 2 – Структурная схема построения беспроводных комбинированных датчиков постоянного тока и напряжения

Измерительных органов (ИО) напряжения и тока в каждом таком датчике может быть несколько.

Для выбора датчиков постоянного тока вначале рассмотрим возможность использования традиционного способа, основанного на измерении падения напряжения на шунте, включённом в разрыв провода с силовым током. Рассчитаем максимальные токи и мощности рассеяния датчиков. При пиковой мощности СВЭС ТООУ 17,5 кВт датчик тока заряда аккумуляторной батареи с номинальным напряжением 48 В должен быть рассчитан на пиковый ток

$$I_d = P/U_{ном} = 17500/48 = 364,5 \text{ А.}$$

При таком токе максимальная мощность, рассеиваемая на шунте при стандартном падении напряжения на нём 75мВ, составит

$$P_{ш} = I_{ш} \cdot U_{ш} = 364,5 \text{ А} \cdot 0,075 \text{ В} \approx 27 \text{ Вт,}$$

что может привести не только к оплавлению, но и к обугливанию изоляции провода, в разрыв которого он включён.

Аккумуляторы Challenger G12-200 ёмкостью 200 А·ч соединены в батарею из 7 параллельных групп по 4 аккумулятора последовательно. Их общая ёмкость составит  $C=7 \cdot 200=1400 \text{ А} \cdot \text{ч}$ . При токе 364,5А новые аккумуляторы разрядятся за 3 часа 50 минут. С учётом минимального времени работы СВЭС на осветительную нагрузку в зимний период с 18 часов до 8

утра следующего дня реальный ток нагрузки (т.е., ток разряда аккумулятора) составит  $\approx 100 \text{ А}$ . При таком токе максимальная мощность, рассеиваемая на шунте при стандартном падении напряжения на нём 75 мВ, составит  $\approx 7,5 \text{ Вт}$ . Ток через шунт для измерения суммарного пикового тока солнечных батарей будет равен:

$$I_{шсб} = N_{сб} \cdot P_{сб} / U_{ном} = (96 \cdot 120 \text{ Вт}) / 48 \text{ В} = 240 \text{ А,}$$

где  $N_{сб}$  – количество солнечных панелей в батарее,

$P_{сб}$  – мощность одной панели.

Результаты расчёта и выбора шунтов для измерения тока в цепях СВЭС традиционным способом приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта и выбора шунтов для измерения тока в цепях СВЭС традиционным способом

Цепь	Пиковый ток в цепи, Ампер	Необходимое количество шунтов и их номинальные токи, Ампер	Получаемое падение напряжения при максимальном токе, мВ	Мощность на шунте после оптимизации, Вт
Ток заряда аккумуляторной батареи	364,5	3x1000	9,11	3,3
Ток разряда аккумуляторной батареи	100	1x200	37,5	3,75
Суммарный ток от солнечных батарей	240	1x1000	18,0	4,3
Суммарный ток от ветрогенераторов	125	1x400	23,44	2,9

Для уменьшения нагрева шунтов их сопротивления пришлось снизить путём выбора к установке шунтов с номинальными токами, превышающими расчётные. Рассеиваемая мощность и падение напряжения на них при этом уменьшится до значений, указанных в правой половине таблицы. Такие малые значения падения напряжения на шунтах могут быть с достаточной точностью измерены с помощью АЦП микроконтроллера только после их предварительного усиления с помощью специально разработанной для этого случая схемы [7, рисунок 4.79].

В последние несколько лет вследствие бурного развития микроэлектроники на рынке появилось множество разновидностей датчиков

постоянного тока, выполненных в виде модулей с встроенными усилителями. На рисунке 3 представлен серийно производимый датчик такого типа INA219.

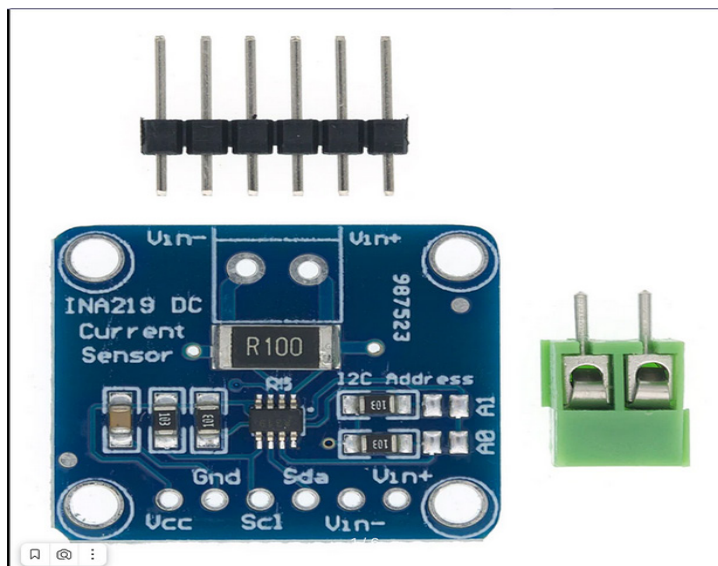


Рисунок 3 – Двухнаправленный датчик постоянного тока с встроенным операционным усилителем и цифровым интерфейсом

Преимущества датчика INA219 – однополярное питание и вывод информации о силе и направлении измеряемого тока в цифровом виде по интерфейсу I2C. Это позволяет исключить из предложенной нами структурной схемы беспроводного датчика (рисунок 2), прецизионный выпрямитель и АЦП и упростить цепи его питания. Однако из-за ограниченной мощности рассеяния встроенного шунта измерение больших токов с его помощью возможно только с внешним шунтом и последующим программным вычислением коэффициента преобразования в микроконтроллере.

Примеры выполнения модулей датчиков постоянного тока на основе эффекта Холла с встроенными усилителями [8] приведены на рисунках 4, 5 и 6. Многообразие конструкций позволяет выбрать датчик практически для любых условий применения.



Рисунок 4 – Модуль с датчиком Холла D-K3T с прямоугольным окном магнитопровода

Достоинствами такой конструкции датчика являются гальваническое разделение силовой и измерительной цепи, а также возможность надевания на измеряемый провод без снятия и последующего обжима клеммного наконечника.



Рисунок 5 – Модуль с датчиками Холла D-C2T с разъемным магнитопроводом

Преимущества этой конструкции – возможность монтажа на провод без разборки силовой схемы и полная гальваническая развязка.

При питании от биполярного источника  $\pm 12$  Вольт вышепоказанные модули выдают информацию о силе тока и о его направлении в виде напряжения величиной  $\pm 4$  Вольта со знаком. Напряжения на выходе

при нулевом и при максимальном токе могут настраиваться с помощью построечных резисторов (триммеров). Принцип работы таких датчиков поясняет схема на рисунке 20 из [9]. Перед вводом в АЦП биполярные сигналы таких датчиков должны быть сначала преобразованы в однополярные с помощью прецизионного выпрямителя, выполненного, например, по схеме на рисунке 20.18 из [10].

Особый интерес представляет датчик на основе эффекта Холла Allegro ACS754 (рисунок 6), выдающий на выходе однополярный сигнал, пригодный для непосредственного ввода в АЦП. Его использование позволило бы упростить предложенную нами на рисунке 2 схему за счёт исключения из неё прецизионного выпрямителя.

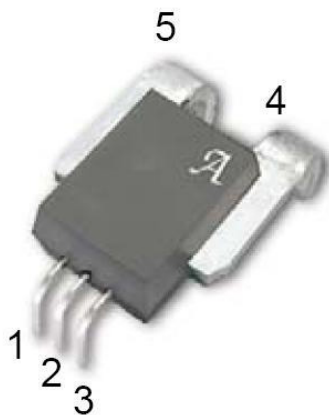


Рисунок 6 – Датчик Холла с однополярным выходным сигналом

Выпускается на токи от 30 до 200 Ампер. Однако подключение таких датчиков требует вмешательства в силовые цепи СВЭС и не обеспечивает гальванической развязки.

#### Результаты и обсуждение

Для поиска причин преждевременного выхода из строя оборудования и совершенствования алгоритмов управления СВЭС, установленных в населенных пунктах, предложено получать необходимые для этого объективные исходные данные путём длительной (как минимум, на протяжении четырёх времен года) фиксации ключевых параметров работы СВЭС и последующего анализа записанных данных. Сбор информации для мониторинга нами предлагается осуществить путём установки в ключевых точках схемы беспроводных цифровых датчиков и последующей передачи их данных в центральный контроллер и далее – для записи на цифровой

носитель. На рисунке 2 предложена структурная схема такого датчика, пригодная для аппаратной реализации в условиях ТоУ. Проанализированы возможности построения измерительных органов на основе различных методов измерения постоянного тока.

Показано, что использование традиционного метода измерения с использованием шунтов для наших целей без принятия специальных мер, предотвращающих повреждение изоляции силовых проводов из-за высокого нагрева шунтов, нежелательно. А необходимость применения дополнительного усилителя и вмешательства в силовую схему и вовсе делает применение этого способа нецелесообразным.

В результате проведённого анализа достоинств и недостатков новых серийно выпускаемых первичных датчиков постоянного тока как наиболее подходящие для использования в измерительных органах тока (рис.2) и для монтажа в аппаратной СВЭС ТоУ нами выбраны модули с разъёмным магнитопроводом D-C2T, допускающие их монтаж без разрыва силовой цепи и обеспечивающие гальваническую развязку.

Из-за ограниченного объёма статьи описание подробностей построения канала измерения напряжения и фиксации погодных параметров в настоящей статье не приводится.

#### Информация о финансировании

**В статью включены результаты исследований, выполненных в рамках грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на 2022–2024 годы по проекту ИРН АР15473220 «Совершенствование алгоритмов работы солнечно-ветровой электростанции», финансируемого Комитетом Науки МНВО РК.**

#### Выводы

В статье обоснована необходимость мониторинга параметров работы СВЭС, работающих в местах установки, в которых требуется сопряжение их работы с системой централизованного электроснабжения. Выбраны ключевые параметры, подлежащие мониторингу. Разработана структурная схема построения беспроводных цифровых датчиков постоянного тока и напряжения, позволяющая в дальнейшем с её помощью организовать дистанционный сбор текущих данных в реальном времени и их фиксацию. Выбраны подходящие для её аппаратной реализации серийно выпускаемые первичные датчики постоянного тока силой до 400 А.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **V. V. Cheboxarov, B. A. Yakimovich, N. V. Lyamina.** Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University // Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, №. 4, P. 256–259.
2. **S. V. Vologdin, B. A. Yakimovich, V.V. Kuvshinov.** Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta // Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, №. 4, P. 229-234.
3. **V. V. Cheboxarov, B. A. Yakimovich, L. M. Abd Ali.** An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea // Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 4, P. 260-264.
4. **Б. Мухамбедьяров.** Управление автономной гибридной электростанцией: магистерская диссертация. СПб, 2017. 81 с.
5. **Д. В. Воротынцев, О. В. Ануфриев, Р. Э. Теряев, К. П. Стеценко.** Повышение эффективности работы солнечной панели при помощи солнечного трекера // Современные проблемы управления и регулирования: теория, методология, практика. Пенза, 2017. С. 39–43.
6. **Л. М. Абд Али, Ф. М. Аль-Руфай, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов.** Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, No 2. С. 61–68.
7. **П. Хоровиц, У. Хилл.** Искусство схемотехники: Пер. с англ. - Изд. 2-е. - М.: Издательство БИНОМ, 2014. – 704 с., ил
8. [https://aliexpress.ru/item/1005001367453644.html?sku\\_id=12000015829453540&spm=a2g2w.productlist.list.8.461d43b0LS2AMz](https://aliexpress.ru/item/1005001367453644.html?sku_id=12000015829453540&spm=a2g2w.productlist.list.8.461d43b0LS2AMz).
9. <https://habr.com/ru/post/260639/> Датчики и микроконтроллеры.
10. **У. Титце, К. Шенк.** Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд., Том II: Пер. с нем. – Москва: LVR Пресс, 2007 – 942 с.: ил.

## REFERENCES

1. **V. V. Cheboxarov, B. A. Yakimovich, N. V. Lyamina.** Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University // Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, №. 4, P. 256-259.
2. **S. V. Vologdin, B. A. Yakimovich, V.V. Kuvshinov.** Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta // Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, №. 4, P. 229-234.

3. **V. V. Cheboxarov, B. A. Yakimovich, L. M. Abd Ali.** An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea // Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, №. 4, P. 260-264.
4. **B. Muhambedyarov.** Upravlenie avtonomnoi gibridnoi elektrostanciei [Autonomous hybrid power plant control]: Master's dissertation. SPb, 2017. 81 p.
5. **D. V. Vorotincev, O. V. Anufriev, R. E. Teryaev, K. P. Stecenko.** Povishenie effektivnosti raboty solnechnoi paneli pri pomoschi solnechnogo trekera [Improving Solar Panel Efficiency with a Solar Tracker] // Sovremennye problemi upravleniya i regulirovaniya: teoriya, metodologiya, praktika. Penza, 2017. P. 39–43.
6. **L. M. Abd Ali, F. M. Al-Rufai, B. A. Yakimovich, V. V. Kuvshinov.** Analiz proizvoditelnosti gibridnykh foto-vetro elektricheskikh ustanovok [Performance Analysis of Hybrid Photo-Wind Power Plants] // Energeticheskie ustanovki i tehnologii. 2019. Vol. 5, No 2. P. 61–68.
7. **P. Horovic, U. Hill.** Iskustvo shemotehniki [The art of circuitry]: Per. s angl. - Izd. 2-e. - Moscow: Izdatelstvo BINOM, 2014. – 704 P.: ill.
8. [https://aliexpress.ru/item/1005001367453644.html?sku\\_id=12000015829453540&spm=a2g2w.productlist.list.8.461d43b0LS2AMz](https://aliexpress.ru/item/1005001367453644.html?sku_id=12000015829453540&spm=a2g2w.productlist.list.8.461d43b0LS2AMz).
9. <https://habr.com/ru/post/260639/> Datchiki i mikrokontrollery [Sensors and microcontrollers].
10. **U. Titce, K. Shenk.** Poluprovodnikovaya shemotehnika [Semiconductor circuitry]. 12-e izd. Vol II: Per. s nem. – Moscow: LVR Press, 2007 – 942 P. : ill.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\**А. В. Мануковский<sup>1</sup>, Ә. Б. Сағындық<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. Материал баспаға 15.12.22 түсті.

### КҮН-ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫСЫНЫҢ НЕГІЗГІ ПАРАМЕТРЛЕРІН БАҚЫЛАУ ҮШІН ТОҚ ДАТЧИКТЕРІН ТАҢДАУ

*Әлемде «жасыл энергияның» молдығы тұрғысынан қолайлы жерлерде күн және жел электр станцияларының тұтас плантациялары сәтті жұмыс істеуде. Сонымен қатар, қалаларда орналасқан бірнеше күн-жел электр станцияларын (КЖЭС) ұзақ мерзімді пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, олардың жұмысын бақылайтын автоматтандыру олардың автоматты режимде*



ұзақ мерзімді тұрақты жұмысын қамтамасыз етпейді, бұл қымбат жабдықтың істен шығуына алып келеді. Сондықтан орталықтандырылған электрмен жабдықтау көздерімен бірлесе жұмыс істейтін КЖЭС басқару контроллерлеріне енгізілген алгоритмдерді жетілдіру мәселесі әлі де өзекті. Мұндай КЖЭС жұмысын басқару алгоритмдерін жетілдіру жолдарын табу үшін ұзақ уақыт бойы олардың жұмысының негізгі параметрлерін бақылау және талдау қажет екені анық. Бұл жұмыстың мақсаты бақылауға жататын негізгі параметрлерді анықтау және өлшеу тізбектерін құру принциптерін таңдау болып табылады. Торайғыров университетіндегі (ТоU) КЖЭС-да токтарды өлшеу үшін қуат тізбектеріне ең аз әсер ететін жүздеген ампер токтарына арналған датчиктер қажет. Мақалада сымсыз сандық сенсорды құрудың блок-схемасы ұсынылады, коммерциялық қол жетімді бастапқы тұрақты ток датчиктері қарастырылады, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері қысқаша сипатталады, олардың шығыс сигналдарын цифрлау қажеттілігі негізделеді және ТоU-дағы КЖЭС-да практикалық қолдану үшін ең қолайлы конструкциялар таңдалады.

Кілтті сөздер: күн-жел электр станциясы, параметрлерді бақылау, АСТ, микроконтроллер, интерфейсдер тұрақты ток сенсорлары.

\*А. V. Manukovskii<sup>1</sup>, А.В. Sagyndyk<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

Material received on 15.12.22

## SELECTION OF CURRENT SENSORS FOR MONITORING OF WORKING OF SOLAR-WIND POWER PLANTS

*In the world, in favorable places from the point of view of the abundance of “green energy”, entire plantations of solar and wind power plants are successfully operating. At the same time, as the experience of long-term operation of several solar-wind power plants (SWPP) located in cities shows, the automation that controls their operation does not ensure their long-term stable operation in automatic mode, which leads to the failure of expensive equipment. Therefore, the problem of improving the algorithms embedded in the SWPP control controllers, working in conjunction with centralized power supply sources, is still relevant. To find ways to improve the algorithms for managing the operation of such SWPP, it is obviously necessary to monitor and analyze the key parameters of their*

*operation over a long period. The purpose of this work is to determine the key parameters to be monitored and to choose the principles for constructing measuring circuits. To measure currents in SWPP Toraighyrov University (ToU), sensors for currents of hundreds of amperes are needed, which have a minimal effect on power circuits. The article proposes a block diagram for constructing a wireless digital sensor; reviews commercially available primary direct current sensors, briefly describes their advantages and selects designs that are most suitable for practical use at SWPP ToU.*

*Keywords: solar-wind power plant, parameter monitoring, ADC, microcontroller, interfaces, direct current sensors.*

[doi.org/10.48081/HOSN7393](https://doi.org/10.48081/HOSN7393)

**\*А. Д. Мехтиев<sup>1</sup>, В. В. Югай<sup>2</sup>, А. Д. Алькина<sup>3</sup>,  
Е. Г. Нешина<sup>4</sup>, Д. К. Бражанова<sup>5</sup>**

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

<sup>2,3,4,5</sup>Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.,

## **СЫРТТАН ЖЫЛУ БЕРІЛЕТІН ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ЖЕТІЛДІРУ**

*Бұл мақалада қыздыру көзінің жылуын түрлендіру кезінде сыртқы жылу берілісі бар қозғалтқыштың тиімділігін арттыру жолы көрсетілген. Ол үшін сыртқы жылу берілісі бар қозғалтқыштың ығыстырушысы мен поршенің ең оңтайлы параметрлерін іздеуді зерттеудің кейбір нәтижелері келтірілген. Сырттан жылу берілетін қозғалтқыштарды дамыту саласындағы әлемдік жетістіктерге, сонымен қатар ғылыми әдебиеттерге талдау жұмыстары жүргізілді. Бүгінгі таңда өзекті мәселе болып отырған сенімділік және сырттан жылу берілетін қозғалтқыштың жұмыс ресурсын арттыру мәселелері қарастырылып, бұл сұрақтарға жауап ізделінді. Сырттан жылу берілетін қозғалтқыштың жұмыс ресурсы құрғақ үйкеліс режимінде ұзақ уақыт жұмыс істей алу мүмкіндігіне және тығыздағыштардың сенімділігімен тікелей байланысты. Ығыстырғыштың ұлғайтылған диаметрімен қозғалтқыштың жаңа конструкциясы жасалып, бұл өзгеріс тығыздағыштардағы жүктеменің азайтылып, ресурстың артатынын байқатты. Берілген поршень диаметріне қатысты ығыстырғыштың диаметрі жоғарылаған кезде PV диаграммасын талдау қозғалтқыштың тиімділігі мен қуатын арттыруда оң нәтиже көрсетті. Ығыстырғыштың диаметрінің ұлғаяуы PV диаграммасының ауданын ұлғайтуға және оны идеалды Стирлинг жылу цикліне жақындатуға әкеледі. Ұсынылған сырттан жылу берілетін қозғалтқыш электрлік синхронды генератор жетегі үшін арналған.*

*Кілтті сөздер: Стирлинг қозғалтқышы, PV диаграммасы, жұмыс денесі, жылытқыш, салқындатқыш.*

### **Кіріспе**

Сырттан жылу берілетін қозғалтқышы немесе Стирлинг қозғалтқышы (СҚ) 1816 жылдан бері белгілі. Оны жасаушы Р. Стирлинг, 1817 жылы патент алды. Р. Стирлинг оны ойлап таппады, оны жетілдірді, ол ұсынған қозғалтқыштың габариттері үлкен және металды көп қажет етті, салмағы тоннадан асып, қуаты шамамен 1 кВт–қа жетті, оның нақты тиімділігі, яғни ПӘК–і шамамен 4 % болды, өйткені ол жеткілікті тұмшаланбаған.

СҚбу машинасына балама ретінде құрылды, оның негізгі артықшылықтары ретінде қарапайымдылық пен қауіпсіздікті айтуға болады. 1832 жылы ол жабық циклді қозғалтқышқа патент алды және термодинамикалық циклдің әртүрлі бөліктерінде жылу энергиясын жинақтап, жұмыс денесіне беретін регенераторды, яғни жылу аккумуляторды қолдануды ұсынды [1].

Модернизация барысында салмағын азайтуға және ПӘК–ке 10 % – ға қол жеткізуге мүмкіндік берді. Әдебиеттерді талдау барысында, ғалымдар мен инженерлердің СҚ–тың әртүрлі құрылымын және модификацияларын жасағанын көрсетті. Philips, STM Inc., Daimler Benz, Solo, United Stirling сияқты фирмалардың СҚ жасаудағы белгілі бір жетістіктерді атап өтуге болады [1,2].

Мысалы, Philips Стирлинг циклінде жұмыс істейтін сырттан жылу берілетін қозғалтқышы негізінде ықшамды электр генераторларын шығарды, ал күн радиациясын электр тогына түрлендіргіштер, пайдалы әсер коэффициенті шамамен 40% тең, бұл әлі күнге дейін күн модульдері үшін қол жетімді емес[1].

Өткен ғасырдың аяғынан бастап қазіргі уақытқа дейін Ecorower, WhisperGen, Microgen, Lion–Powerblock, Honda, EcoGen сияқты өндірушілермен СҚ бар электр станциялары жаппай шығарылуда [1,2]. Ішкі жану қозғалтқышымен (ІЖК) салыстырғанда поршеньді СҚ кең таралуға мүмкіндік бермейтін бірқатар шешілмеген мәселелер бар [1,2]. СҚ ішкі жану қозғалтқышына қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие [1,2]. Қазіргі СҚ жаңа типтері жасалып дайындалып жатыр, оған Стирлингтің жылу циклі бойынша жұмыс істейтін еркін поршеньді және термоакустикалық сыртқы жылу беру қозғалтқышты жатқызуға болады. ДВП бұл түрлері ДВС және поршеньді ДВС [1–4] салыстырғанда тиімділік көрсеткіштері мен артықшылықтарына ие, мысалы, NASA әзірлемелерін атап өтуге болады [1].

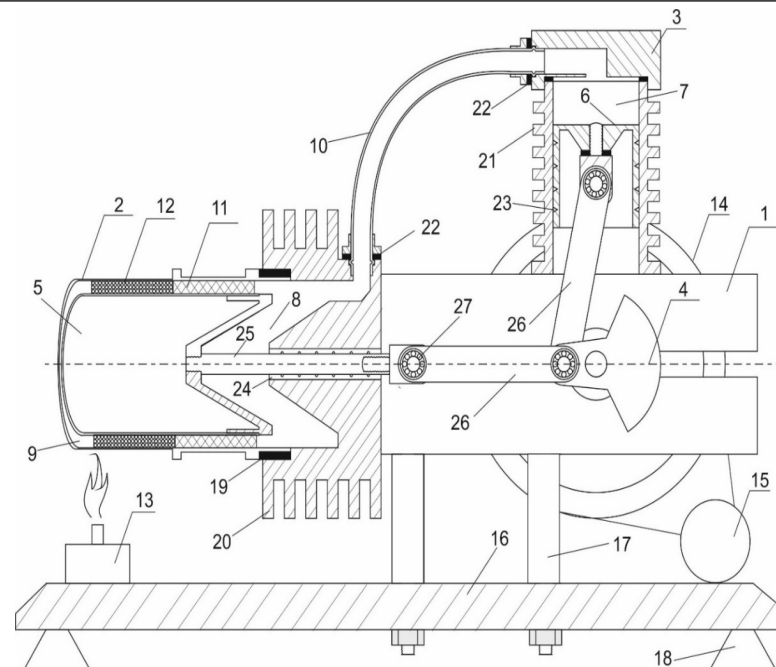
СҚ кез келген жануға қолданылатын қалдықтар немесе қол жетімді отында жұмыс істеуге қабілетті когенерациялық үлгідегі микро жылу электр станциялары үшін механикалық қуат көзі ретінде қолдану аса маңызды мәселе [5–11]. Басты міндет болып сырттан жылу берілетін қозғалтқыш конструкциясын, сонымен қатар бөлінген жылуды механикалық энергияға, содан кейін электр энергиясына түрлендіру тиімділігін жетілдіру. СҚ когенерация режимінде жұмыс істей алады, өйткені оған іштен жану

қозғалтқышына қарағанда қарқынды салқындату қажет және оның салқындату жүйесінің радиаторы ауданы бойынша 3 есе үлкен болуы тиіс [1,2].

Қойылған тапсырмалар мен міндеттер белгілі СҚ қарағанда құрылымдық айырмашылықтармен шешіледі, ең алдымен жұмыс цилиндрін салқындатудың қосымша радиаторы, сым регенераторы және жылу жинайтын шарлармен толтырылған жетілдірілген жылытқыштың болуы, сонымен қатар жылытқыш пен салқындатқышты жылу оқшаулағыш тығыздағышпен бөлу, соның арқасында қозғалтқыштың қуаты мен жылу тиімділігі артады. Цилиндрлердің қуыстарын байланыстыратын магистраль мыс түтікпен жасалған, бұл жұмыс денесінің салқындауын жақсартуға мүмкіндік береді. Пайдалы модельде арнайы әзірленген электрлік синхронды генератордың арқасында электр энергиясын өндіру жүйесі бар. Ыстық цилиндрдің ығыстырғышының жұмыс аймағын ұлғайту үшін ол соңында сфералық болады, бұл цилиндрдің диаметрін арттырмай қозғалтқыштың қуатын 10% – ға дейін арттырады. Ығыстырғыштың диаметрі поршень диаметрінен екі есе үлкен, бұл тиімділікті, сонымен қатар PV диаграммасының ауданын арттыруға және оны идеалды Стирлинг цикліне жақындатуға мүмкіндік береді. Келесі модельдерде поршеньге қарағанда диаметрі үш есе үлкен ығыстырғыш жасау жоспарлануда. Сырттан жылу берілетін қозғалтқыштың қуаты оның ішкі қуысындағы жұмыс денесінің қысымының жоғарылауымен бірнеше есе артады, бұл модельде ыстық цилиндрдің бір литр көлемінің 20–дан 30 мл–ге дейінгі қатынасында дисциплирленген су бу–ауа қоспасын қолдану арқылы қол жеткізіледі. Бұл гелий көрсеткіштерінен асып түсетін қысымның айтарлықтай артуына қол жеткізеді. Құрғақ қаныққан бу қысымының есептелген көрсеткіштері практикалық эксперименттердің нәтижелерімен сәйкес келді. Жұмыс денесі 1500С дейін қызған кезде оның қысымы 0,5 МПа, 2000С кезінде қысым 1,5 МПа, ал 3000С кезінде қысым  $P=6$  МПа көтеріледі деп айтуға болады.

#### Материалдар және әдістер

Белгілі СҚ конструкциялары негізінде жасалған пайдалы модель [1,2], сырттан жылу берілетін қозғалтқыштың құрылымдық элементтерінің негізгі позицияларын көрсететін бойлық бөлім 1–суретте көрсетілген. Пайдалы модельде дюралюминий қорытпасынан жасалған екі пластинадан тұратын 1 тұғыр бар, пластиналар иінді біліктің осіне перпендикуляр орналасқан.



Сурет 1 – Сыртқы жылу берілісі бар қозғалтқыш конструкциясы элементтерінің негізгі позициялары көрсетілген бойлық қима

Жалпы алғанда, қозғалтқышта екі цилиндр бар, сәйкесінше біреуі шартты түрде «Ыстық» 2 және бір «Суық» 3, олар тұғыр 1 пластиналарының бүйір беттерінде бір–біріне қатысты 90° бұрышпен және сермері бар қосиінді–бұлғақты 4 механизммен ұшқышпен орнатылады. Пластиналардың бүйірінде орналасқан қыздыру көзі жағынан сфералық тұтқыры бар ыстық цилиндр 2, ал суық цилиндр 3 тұтқыр 1 пластиналарының бүйір жағында орналасқан. Ығыстырғыш 5 сфералы орындалған және ыстық цилиндрде 2 орналасқан, ал жұмыс поршені 6 жұмыс цилиндрде 3 орналасқан. Осы жерде жұмыс денесін ығыстыру үшін екі қуыс 7 және 8, сонымен қатар кеңейту үшін қуыс 9 пайда болады. Магистраль 10 ығыстыру екі қуыстарды 7 және 8 байланыстыру үшін қажет. Сым регенераторы 11 (диаметрі 1–2 мм ұяшықтары бар болат сымдардан жасалған) және 12 жылытқышы жылу жинайтын шарлармен толтырылған. Қыздыру көзі 13. Шығыры бар сермер 14 электрлік синхронды генераторды 15 жетек үшін. Тұғыр 1 негіз 16 орналасқан және төлкелер 17 арқылы бекітіледі, олардың саны 4, негіз аяқ 18 ұсталып тұр. Жылуоқшаулағыш төсем 19 суықтағыш 20 ыстық цилиндрден 2 оқшаулайды.

Суық цилиндрдың 3 қосымша салқындату радиаторы 21 бар. Магистральдан 10 жұмыс денесінің ағып кетуін болдырмау үшін икемді резеңке қабат 22 қолданылады. Сонымен қатар, фторопластты қабат 23 жұмыс поршенде 6 бар, дәл осындай қабат 24 ығыстыру қуысының 8 герметикалық жағдайын сақтап, ығыстырушының 25 үйкеліс күшін азайтады. Бұлғақ 26 домалақ мойынтірегі 27 бар. Сым регенераторы 11 қозғалтқыштың тиімділігін арттыруға арналған және келесідей жұмыс істейді, кеңейе отырып жұмыс денесі сым арқылы өтіп, ол жылу аккумуляторы сақтайтын жылудың бір бөлігін береді, бөлшектеп жылу берудің арқасында жұмыс денесі салқындатқышта 20 жақсы салқындатылады.

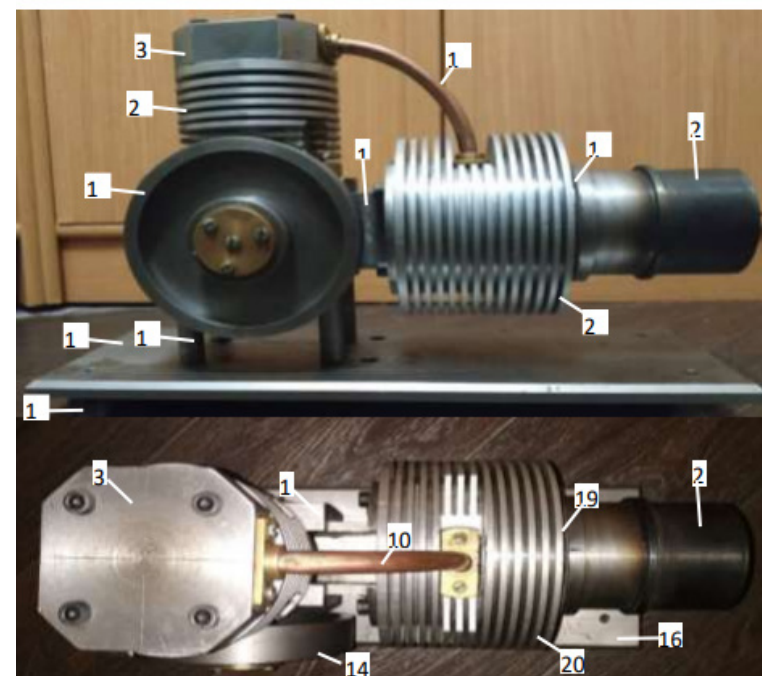
Сәйкесінше, жұмыс денесі 8 және 7 қуыстарынан 9 қуысқа оралған кезде, ол жиналған жылудың бір бөлігін 11 сым регенераторынан алады және алдын-ала қыздырылады. Тиісінше, қыздыру көзінде 13 отынның жануынан алынған жылу энергиясын үнемдеуге қол жеткізіледі. 9 кеңейту қуысы мен 8 қысу арасындағы жұмыс температурасының айырмашылығы неғұрлым жоғары болса, қозғалтқыштың қуаты мен тиімділігі соғұрлым жоғары болады.

2 суретте практикалық сынақтардан өткен және өзінің жұмыс қабілеттілігін дәлелдеген сыртқы жылу құбыры бар қозғалтқыш конструкциясы элементтерінің кейбір позициялары көрсетілген пайдалы модельдің сыртқы түрі көрсетілген. Бұл модельде табиғи ауаны салқындату бар, бірақ болашақта оны сорғымен және үрленетін радиатормен сұйықтықтың мәжбүрлі айналымы бар осындай автомобильдің сұйық салқындату жүйесімен жабдықтау жоспарлануда.

Бұл қозғалтқыштың қуатын және оның минутына айналу санын арттырады. Қозғалтқыш жылдамдығын өлшеу үшін Victor DM6234P (Қытайда шығарылған) лазерлік байланыссыз тахометр қолданылды. Қыздырғыштың температурасын өлшеу үшін C-20.3 Пирометрі қолданылды (Ресейде шығарылған). Қысым компрессордың көмегімен суық цилиндрге орнатылған штуцер арқылы қысылды. Қысым параметрлері өлшеу диапазоны 0-ден 100 МПа-ға дейінгі электронды манометр көмегімен өлшенді.

Сырттан жылу берілетін қозғалтқыш моделінің негізгі техникалық сипаттамалары:

- 500 Вт-қа дейінгі механикалық қуат;
- айналу жиілігі 300-ден 1500 айн/мин;
- қолданыстағы жұмыс денесі-бу-ауа қоспасы;
- цилиндрдегі жұмыс денесінің максималды қысымы 8 МПа-дан аспайды;
- ауа салқындату жүйесі;
- жылытқыштың максималды температурасы 7000С дейін;
- бөлмедегі ауа температурасы 230С.



Сурет 2 – Сыртқы жылу беретін қозғалтқыш конструкциясы элементтерінің кейбір позициялары көрсетілген пайдалы модельдің сыртқы түрі

### Нәтиже және талқылау

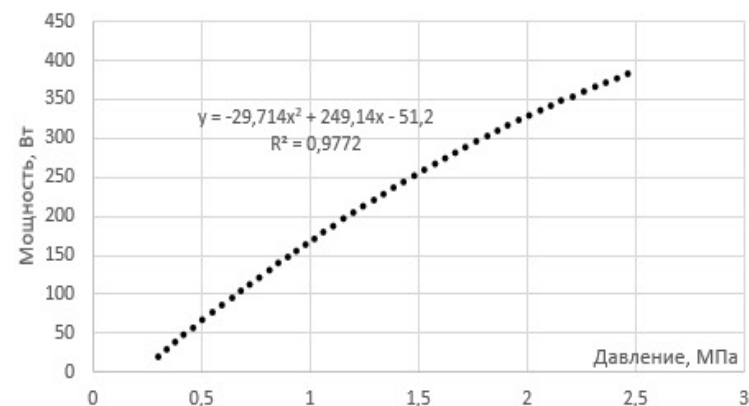
Сырттан жылу берілетін қозғалтқыштың сенімділігі және жұмыс ресурсын жоғарлату мәселелерін шешу тікелей тығыздау жұмыстарымен байланысты, олар ұзақ уақыт бойы құрғақ үйкеліс режимінде жұмыс істеуге қабілетті. Әр түрлі конструкцияларда поршенді және ығыстырғыш штогын нығыздау мәселесі әртүрлі шешілді. Диафрагмалық немесе динамикалық жылжымалы тығыздағышты қолдануға болады, мысалы, Philips инженерлері «жиналмалы шұлық» түріндегі резеңке тығыздағыштарды ойлап тапты, Юнайтед Стирлинг өзінің конструкцияларында «жылжымалы тығыздағышты» қолданды [1,2]. Политетрафторэтиленнен жасалған Ленинградтық тығыздағыш бар, ол температураға сезімтал, ал тығыздағыш штокқа тартылғандықтан, қосылыста үйкеліс салдарынан көп мөлшерде жылу бөлінеді [1,2].

Қосиінді жетегі бар СҚ үшін диафрагмалық тығыздағыш ғана сәйкес келеді. Мысалы, «General Motors» өткен ғасырдың соңында әртүрлі тығыздағыштарды дамытуға 20 жылдан астам уақыт жұмсады, полиуретанды диафрагмалардың қызмет ету мерзімі 1400 сағатқа жетті, бірақ бірнеше рет өндеуден соң тығыздағыштар тұрақты беріктік, алмастыру және монтаждау қарапайымдылығының талаптарын қанағаттандыра алмады. Аналогты жұмыстарды «Форд» және Philips фирмалары жүргізді [1,2]. Олардың жұмысында жылжымалы тығыздағыштарды (майлы тығыздағыштар) дамытуға көп күш жұмсалады. Бірақ тұрақты оң нәтижелерге қол жеткізу мүмкін болған жоқ, зерттелетін модельдегі тығыздағыштардың қызмет ету мерзімі 120 сағаттан аспайды, компрессордың көмегімен жұмыс денесін үнемі сорып алу қажет. Бұл болашақта әлі шешілуге тиісті маңызды мәселе.

Жылжымалы тығыздағыштар жөндеу жұмыстарын жеңілдетеді, яғни қозғалтқыштың эксплуатациясын азайтады. Тығыздағыштардың ресурсын арттыру және жұмыс істейтін дененің ағып кетуін азайту үшін тығыздағыштармен жанасу аймағында шток, цилиндр қабырғалары мен поршеньді мұқият жылтырату қажет, тегіс емес жерлердің биіктігі 80–120 мкм–ден аспауы керек, ал олардың сопақтығы 10–12 мкм–ден аз болуы керек. Поршеньде 6 тығыздағыш, ал штокта 7 тығыздағыш бар, бұл 120 сағаттық жұмыс кезінде жеткілікті тығыздықты қамтамасыз етеді.

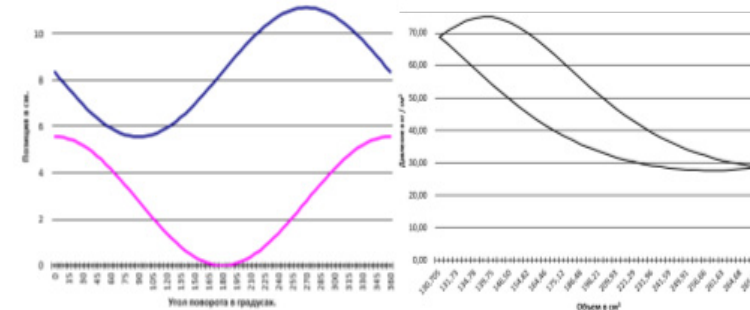
Тығыздау материалы ретінде: полиамид; термопластик; шыныталшық; графит қоспалары бар керамикалық талшық; графит қоспалары бар шыныталшық. Белгілі бір материалды түпкілікті таңдау бірқатар сынақтар мен зерттеулерден кейін жасалады.

Эксперименттердің кейбір нәтижелері 3–суретте алынған механикалық қуаттың жұмыс денесінің ішкі қысымына тәуелділігінің графигімен көрсетілген, графит қосылған шыны талшық тығыздағыш ретінде қолданылған.

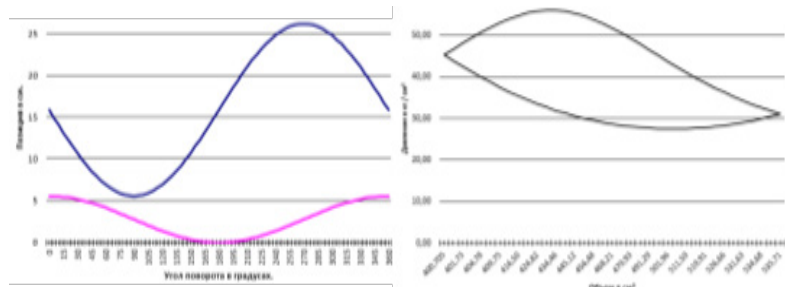


Сурет 3 – Механикалық қуаттың жұмысшы дененің ішкі қысымына тәуелділік графигі.

4 және 5–суреттерде 3500С температурасына дейін қызған кезде жұмыс дененің қысымы мен көлемінің өзгеруін зерттеу нәтижелерін көрсетеді. Поршень диаметріне қатысты ығыстырғыш диаметрінің ұлғаюы екі есе өседі, тиімділікті, сондай-ақ PV диаграммасының ауданын арттыруға және оны мінсіз Стирлинг цикліне жақындатуға мүмкіндік береді [1,2]. Ығыстырғыштың диаметрінің ұлғаюы сыртқы жылу беретін қозғалтқыштың жылу цикліндегі максималды жұмыс қысымын төмендетеді, яғни тығыздағыштарға жүктемені азайтады, бұл олардың ресурсын арттырады.



Сурет 4 – Ығыстырғыш пен поршеньнің бірдей диаметріндегі PV диаграммасы



Сурет 5 – Поршень диаметріне қатысты ығыстырғыштың диаметрі 2 мм есе үлкен PV диаграммасы

Сырттан жылу берілетін қозғалтқыштың құны өндіріс көлеміне және оның металл сыйымдылығына байланысты. Атмосфералық дизельге елеулі бәсекелестік жасау үшін меншікті салмағы 100 кВт–та 280–290 кг–ға қол жеткізгеніміз жөн, бірақ біздің модельдің көрсеткіштері шамамен 30 есе көп, оның металл сыйымдылығын төмендетумен ұзақ жұмыс істеу керек.

#### Қорытынды

Қозғалтқыштың металл сыйымдылығы мен тиімділігінің оңтайлы көрсеткіштеріне қол жеткізу үшін цилиндрлердегі жұмыс денесінің қысымы кемінде 10 МПа қажет, ол 1500 айн/мин айналу жиілігінде қозғалтқыш білігінде айналдырушы моменттің ең жоғары көрсеткіштерін береді, бұл жағдайда төмен жылдамдықты синхронды айнымалы ток генераторын қолдану қажет болады.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Уокер, Г. Двигатели Стирлинга: пер. с англ. [Текст]. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
- 2 Ридер, Г. Двигатели Стирлинга: пер. с англ. [Текст]. – 2-е изд. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
- 3 Ильин, Р. А. Эффективность использования двигателей Стирлинга в составе газо–газовых теплоэнергетических установок [Текст] // Вестник АГТУ. – 2008. – №5 (46). – С. 136–139.
- 4 Langlois, Justin L. R. Dynamic computer model of a Stirling space nuclear power sys–tem. Trident Scholar project report no. 345 [Text]. – Annapolis: US Naval Academy, 2006. – 348 p.
- 5 Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Алькина, А. Д. Исследование свободнопоршневого теплового двигателя с внешним подводом теплоты

для привода электрического генератора [Текст] // Вестник КазАТК им. М.Тынышпаева. – 2018. – № 4. – С. 266–276.

6 Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Калиаскаров, Н. Б., Есенжолов, У. С., Мехтиев, Р. А. Перспектива использования тепловых электростанций сверхмалой мощности на основе двигателя с внешним подводом теплоты [Текст] // Механика и технологии. – 2019. – № 2 (64). – С. 166–173.

7 Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Алькина, А. Д., Мехтиев, Р. А. Повышение эффективности работы автономной тепловой электростанции на основе двигателя Стирлинга за счет изменения его конструкции [Текст] // Вестник КазНИТУ. – 2019. – № 6 (136). – С. 100–105.

8 Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Есенжолов, У. С., Калиаскаров, Н. Б. Некоторые вопросы развития двигателя с внешним подводом теплоты, работающего по циклу стирлинга, и перспективы его использования [Текст] // Вестник Восточно–Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2019. – № 4.

9 Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Алькина, А. Д., Калиаскаров, Н. Б., Есенжолов, У. С. Многотопливная микротепловая электростанция мощностью 1–10 кВт для удаленных объектов сельской местности и фермерских хозяйств [Текст] // Вестник Южно–уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2018. – № 2(18). – С. 62–71.

10 Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Калиаскаров, Н. Б., Алькина, А. Д., Турдыбеков, Д. М. Использование двигателя Стирлинга для когенерационной тепловой электростанции сверхмалой мощности с возможностью использования тепловых потерь металлургического производства [Текст] // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). – 2018. – № 3(98). – С. 186–195.

11 Mekhtiev, A. D., Yurchenko, A. V., Yugay, V. V., Al'kina, A. D., Yessenzholov, U. S., Kaliaskarov, N. B. Multi–fuel power station of ultra –low power with external combustion thermal engine, capable efficiently operate in the conditions of rural areas of Kazakhstan [Text] // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. – 2019. – № 435(3). – P. 136–143.

#### REFERENCES

- 1 Uoker, G. Dvigateli Stirlinga: per. s angl. [Stirling engines: translation from English] [Text]. – М.: Mashinostroenie, 1985. – 408 p.
- 2 Rider, G. Dvigateli Stirlinga: per. s angl. [Stirling engines: translation from English] [Text]. – 2-е изд. – М.: Мир, 1986. – 464 p.

3 **П'ин, R. A.** E'ffektivnost' ispol'zovaniya dvigatelej Stirlinga v sostave gazo–gazovy'x teploe'nergeticheskix ustanovok [The efficiency of using Stirling engines as part of gas–gas thermal power plants] [Text] // Vestnik AGTU. – 2008. – № 5(46). – P.136–139.

4 **Langlois, Justin L. R.** Dynamic computer model of a Stirling space nuclear power sys–tem. Trident Scholar project report no. 345 [Text]. – Annapolis: US Naval Academy, 2006. – 348 p.

5 **Mekhtiev, A. D., Yugaj, V. V., Al'kina, A. D.** Issledovanie svobodnoporshnеvogo teplovogo dvigatelya s vneshnim podvodom teploty` dlya privoda e`lektricheskogo generatora [Study of a free–piston heat engine with external heat supply to drive an electric generator] [Text] // Vestnik KazATK im. M.Ty`ny'shpaeva. – 2018. – № 4. – P. 266–276.

6 **Mekhtiev, A. D., Yugaj, V. V., Kaliaskarov, N. B., Esenzholov, U. S., Mekhtiev, R. A.** Perspektiva ispol'zovaniya teplovy'x e`lektrostantsij sverxmaloj moshhnosti na osnove dvigatelya s vneshnim podvodom teploty` [The prospect of using ultra–low power thermal power plants based on an engine with external heat supply] [Text] // Mexanika i texnologii. – 2019. – № 2 (64). – P.166–173.

7 **Mekhtiev, A. D., Yugaj, V. V., Al'kina, A. D., Mekhtiev, R. A.** Povy'shenie e'ffektivnosti raboty` avtonomnoj teplovoj e`lektrostantsii na osnove dvigatelya Stirlinga za schet izmeneniya ego konstrukcii [Improving the efficiency of an autonomous thermal power plant based on the Stirling engine by changing its design] [Text] // Vestnik KazNITU. – 2019. – № 6 (136). – P. 100–105.

8 **Mekhtiev, A. D., Yugaj, V. V., Yessenzholov, U. S., Kaliaskarov, N. B.** Nekotory'e voprosy` razvitiya dvigatelya s vneshnim podvodom teploty`, rabotayushhego po ciklu stirlinga, i perspektivy` ego ispol'zovaniya [Some issues of the development of an engine with an external heat supply operating on the Stirling cycle, and the prospects for its use] [Text] // Vestnik Vostochno–Kazaxstanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva. – 2019. – № 4.

9 **Mekhtiev, A. D., Yugaj, V. V., Al'kina, A. D., Kaliaskarov, N. B., Esenzholov, U. S.** Mnogotoplivnaya mikroteplovaya e`lektrostantsiya moshhnost'yu 1–10 kVt dlya udalenny'x ob`ektov sel'skoj mestnosti i fermerskix hozyajstv [Multi–fuel microthermal power plant with a capacity of 1–10 kW for remote rural areas and farms] [Text] // Vestnik Yuzhno–ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «E'nergetika». – 2018. – №2(18). – P. 62–71.

10 **Mekhtiev, A. D., Yugaj, V. V., Kaliaskarov, N. B., Al'kina, A. D., Turdy`bekov, D. M.** Ispol'zovanie dvigatelya Stirlinga dlya kogeneracionnoj teplovoj e`lektrostantsii sverxmaloj moshhnosti s vozmozhnost'yu ispol'zovanie teplovy'x poter` metallurgicheskogo proizvodstva [The use of a Stirling engine for an ultra–low power cogeneration thermal power plant with the possibility of using heat losses from metallurgical production] [Text] // Vestnik nauki Kazaxskogo

agrotexnicheskogo universiteta im. S. Sejfullina (mezhdisciplinarny`j). – 2018. – № 3(98). – P. 186–195.

11 **Mekhtiev, A. D., Yurchenko, A. V., Yugaj, V. V., Al'kina, A. D., Yessenzholov, U. S., Kaliaskarov, N. B.** Multi–fuel power station of ultra–low power with external combustion thermal engine, capable efficiently operate in the conditions of rural areas of Kazakhstan [Text] // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. – 2019. – № 435(3). – P. 136–143.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

\*А. Д. Мехтиев<sup>1</sup>, В. В. Югай<sup>2</sup>, А. Д. Алькина<sup>3</sup>,

Е. Г. Нешина<sup>4</sup>, Д. К. Бражанова<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Астана,

<sup>2,3,4,5</sup> Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Казахстан Республика, г. Караганда

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЯ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ

*В статье приведены некоторые результаты исследования поиска наиболее оптимальных параметров вытеснителя и поршня двигателя с внешним подводом теплоты, для повышения его эффективности при преобразовании тепла источника нагрева. Проведен литературный анализ имеющихся мировых достижений в области развития двигателей с внешним подводом теплоты. Рассмотрены вопросы решения существующей проблемы надежности и повышения ресурса работы двигатель с внешним подводом теплоты напрямую связано надежностью работы уплотнений способных работать в режиме сухого трения длительное время. Разработана конструкция двигателя с увеличенным диаметром вытеснителя. Проведенный анализ PV диаграммы при увеличенном диаметре вытеснителя по отношению к диаметру поршня показал положительный результат в повышении КПД и мощности двигателя. Увеличение диаметра вытеснителя также ведет к увеличению площади PV диаграммы и приближении ее к идеальному тепловому циклу Стирлинга. Предложенный двигатель с внешним подводом теплоты предназначен для привода электрического синхронного генератора.*

\*A. D. Mekhtiev<sup>1</sup>, V. V. Yugay<sup>2</sup>, A. D. Alkina<sup>3</sup>,  
Y. G. Neshina<sup>4</sup>, D. K. Brazhanova<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Kazakh agrarian university named after S. Seifullin,  
Republic of Kazakhstan, Astana,  
<sup>2,3,4,5</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Karaganda  
Material received on 15.12.22

### IMPROVEMENT OF THE ENGINE DESIGN WITH EXTERNAL HEAT SUPPLY

*The article presents some results of a study of the search for the most optimal parameters of the displacer and piston of an engine with an external heat supply, in order to increase its efficiency when converting heat from a heating source. A literary analysis of the available world achievements in the field of development of engines with external heat supply is carried out. The issues of solving the existing problem of reliability and increasing the service life of an engine with an external heat supply are directly related to the reliability of seals capable of operating in dry friction mode for a long time. The design of the engine with an increased displacement diameter has been developed. The analysis of the PV diagram with an increased diameter of the displacer relative to the diameter of the piston showed a positive result in increasing the efficiency and power of the engine. An increase in the diameter of the displacer also leads to an increase in the area of the PV diagram and its approximation to the ideal Stirling thermal cycle. The proposed engine with external heat supply*

*Keywords: Stirling engine, PV diagram, working fluid, heater, cooler.*

\*Г. О. Мусекенова<sup>1</sup>, И. В. Мамонова<sup>2</sup>, Д. С. Уразалимова<sup>3</sup>,  
Л. А. Попп<sup>4</sup>, С. В. Золотарева<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университеті,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қаласы

### ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАНЫ БАСҚАРУДА НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТІ РЕТІНДЕ ІШКІ БАҚЫЛАУ

*Электр энергетика экономиканың негізгі салаларына жатады. Оның негізгі индикаторларының арасында – индустрияландырудың өсіп келе жатқан қажеттіліктері, халықты үздіксіз энергиямен жабдықтау, елдің энергетикалық тәуелсіздігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету бар.*

*Энергетика саласының жағдайын, электр энергиясы мен тұтастай электр энергетиканың нарықтарының ұйымдық құрылымындағы проблемаларды шешу тетіктерін, тарифтік саясатты және т.б. бағалау, сондай-ақ саланың кәсіпорындарында ішкі бақылау жүйесін әзірлеу қажеттілігін негіздеу. Экономикалық тұрбуленттілік және бизнесті жүргізудің жаңа нысандарының пайда болуы жағдайында ішкі бақылаудың алдына қойылған мақсаттарға қол жеткізуді қамтамасыз ету үшін бақылау функциясының энергетикалық нарықтағы шаруашылық жүргізуші субъектінің жағдайына әсері күшейе түседі, ол экономикалық субъект қызметінің өзгеретін жағдайларына бейімделуі керек.*

*Бүгінде бүкіл әлемде, әсіресе энергетикалық ресурстар ұлттық байлықтың басты құрамдас бөлігі болып табылмайтын өңірлерде тиімді басқару жүйелерін ұйымдастыру және пайдалану проблемалары аса өзекті болып табылады. Техникалық шаралардан басқа, кез-келген типтегі кәсіпорындарда басқару шешімдерін енгізуге мүмкіндік беретін жүйелі тәсіл қажет.*

*Қазақстанның энергетикалық әлеуеті көптеген елдердің назарын өзіне аударады, ал кәсіпорындар басшылығы жүргізіп отырған табысты экономикалық саясат қолайлы инвестициялық ахуалды қамтамасыз етеді.*



*Кілтті сөздер: ішкі бақылау, модель, электр энергетика, талдау, тұжырымдама, жүйелік тәсіл, бақылау функциясы, басқару*

### Кіріспе

Елдің және ондағы өңірлерінің энергетикалық қауіпсіздігі экономикалық және ұлттық қауіпсіздіктің құрамдас бөлігі ретінде бірнеше блоктардан тұрады. Мақалада келесі индикаторлар бойынша электр энергиясымен қамтамасыз ету блогы бойынша талдау нәтижелері келтірілген:

- елдегі электр энергияның теңгеріміндегі меншікті көздердің үлесі;
- электр энергиясын өндірудегі өңірдің үлесі;
- электр энергиясын тұтынудағы өңірдің үлесі;
- электр энергиясын жеке басты тұтынудың өзгеруі.

Он жыл ішінде электр энергиясын тұтыну үлесінің белгілік жағдайы қалыпқа келтірілді, сонымен қатар бұл ретте 5 % беріктік қоры бар. Басқа индикаторлар мүлдем өзгерістері жоқ, бірақ адам басына шаққандағы энергияны тұтыну индикаторы аздап төмендеді.

Ішкі бақылау қаржы-шаруашылық қызметті тиімді жүргізуде қол жеткізуге бағытталған және энергетика кәсіпорындарының ішінде: қолданыстағы заңнама талаптарының сақталуын; есепке алу мен есептілікте қаржы-шаруашылық қызметтің көрсетілуінің дұрыстығын; қателер мен бұзушылықтардың алдын алуды; бұйрықтардың орындалуын; шаруашылық жүргізуші субъект мүлкінің сақталуын қамтамасыз етуді және т. б. байқау мен тексеруден тұрады.

Кәсіпкерлік қызмет болып табылатын аудиттен айырмашылығы, ішкі бақылау – бұл энергетикалық компаниялардың басшылығы мен қызметкерлері жүзеге асыратын ұйымдық құрылым, әдістер мен рәсімдердің жиынтығы.

### Материалдар мен әдістер

Ұйымдарда шығындарды азайтудың нәтижесінде нақты механизмін алады, яғни өнімнің өзіндік құнын төмендетеді және оның бәсекеге қабілеттілігін арттырады. Электр энергетикада шетелдік және меншікті Қазақстандық тәжірибе ұйымның ішкі бақылауы жекелеген шаруашылық жүргізуші субъектінің экономикасын тұрақтандырудың, демек, жалпы саланың пәрменді құралы болып табылатынын көрсетеді.

Бұл жүйені үнемі жетілдірудің динамикасы мен қажеттілігі әлемдік тенденциялармен расталады: соңғы онжылдықтарда кәсіпорында бақылауды ұйымдастырудың түбегейлі жаңа әдістері таралды. Ең жарқын мысал – Жапон еліндегі CANBAN жүйесі, ол өнімнің үздіксіз өндірілуін және, демек, оның сапасын тұрақты бақылаудың жоғары деңгейін ұсынады. Соңғы

бірнеше онжылдықта ішкі бақылау тұжырымдамасы үнемі жетілдіріліп отырды.

«Бақылау функциясын» қарастырған кезде бұл тұжырымдаманы ішкі бақылау жүйесімен анықтауға болады. Іс жүзінде барлық тұжырымдамалар ішкі бақылауды процесс немесе процестер жиынтығы ретінде анықтайды, осылайша ішкі бақылауды жүзеге асыру жалғыз әрекеттермен немесе басшылықтың Жоғарғы буынының ресми саясаттарын шоғырландырумен шектелмейді, бірақ өзара байланысты элементтер жүйесі болып табылады.

Энергетика саласында ең көп таралған ішкі бақылау жүйесінің моделдері:

1 COSO – Тредвей комиссиясының демеушілер ұйымының комитеті әзірлеген ішкі бақылау моделі;

2 COBIT – ISACA ақпараттық жүйелерді аудит және бақылау қауымдастығы құрған «Ақпараттық технологияларды пайдаланудағы бақылау мақсаттары» стандарты

Қаржы министрлігінің ақпараты үшін «Экономикалық субъектінің электр энергиясын жеткізу, бухгалтерлік есепті жүргізу және бухгалтерлік (қаржылық) есептілікті жасау фактілеріне ішкі бақылауды ұйымдастыру және жүзеге асыру» негізгі болып табылады. ІБЖ текше түрінде ұсынылған, оның негізгі элементтері төрт компоненттерден тұрады. Мәліметтер 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Негізгі элементтері

Бақылау ортасы	Ұйым қызметкерлері жұмыс істейтін атмосфера, корпоративтік мәдениет. Корпоративтік стандарттарды, басшылықтың жұмыс стилін, ережелерді және лауазымдық нұсқаулықтарды қамтиды. Жұмыс процесінің негізі ішкі бақылау жүйесінсіз мүмкін емес
Тәуекелдерді бағалау	Ұйым алдына қойылған мақсаттарға қол жеткізуге әсер етуі мүмкін тәуекелдер деңгейін тану және бағалау. Ішкі қатынастарды орнату (жоспарланған, заңды, бухгалтерлік есеп және т.б.). Тәуекелді дұрыс бағаламау қате пікірлердің пайда болуына және кірістердің жоғалуына әкелуі мүмкін, ал оның алдын – алу ұйым қызметінің оң әсері болып табылады.
Ақпарат және коммуникация	Бұл элемент өзара ақпарат алмасуды көрсетеді. Ақпарат ағынын қамтамасыз ету.

Мониторинг	Ішкі бақылау жүйесінің сапасын бағалау, орнатылған жүйе өз функцияларын қаншалықты тиімді орындайды.
------------	--

COBIT тұжырымдамасы ұйымның стейкхолдерлері үшін құндылықты барынша арттыру, бизнесті трансформациялауды жүргізу үшін ресурстарды оңтайландыру, саланың тәуекелдерін бағалау және барынша азайту үшін ақпарат пен технологияларды тиімді қолдануға назар аударады. Ақпараттық жүйелердің аудит және бақылау Қауымдастығы берген анықтамаға сәйкес, ішкі бақылау – бұл экономикалық субъектінің бизнес мақсаттарына қол жеткізуге және күтпеген оқиғалардың алдын алуға немесе анықтауға және түзетуге жеткілікті сенімділікті қамтамасыз ету үшін әзірленген саясаттар, рәсімдер, тәжірибелер және ұйымдық құрылымдар жиынтығы [1].

Нәтижелер мен талқылау

Тұжырымдамаларды талдау негізінде ішкі бақылау жоғары басшылық қойған мақсаттар мен міндеттердің орындалуын қамтамасыз ету мақсатында жүзеге асырылатын, яғни атқарушы функцияларды орындайтын процесс деп қорытынды жасауға болады:

- басқарушылық шешімдер қабылдау үшін тәуекелдер туралы толық және сенімді ақпаратпен басшылықты қамтамасыз ету;

- экономикалық субъектінің өз қызметін жүзеге асыруы үшін іргетасты қалыптастыру (саясат, қызмет стандарттары, Ұйымдық құрылым);

Осылайша, COBIT тұжырымдамасында көрсетілген компоненттерді COSO моделімен салыстыруға болады. Екі тұжырымдаманың компоненттерін салыстыру 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Энергетика саласының халықаралық практикасындағы ішкі бақылау тұжырымдамасын салыстыру

Көрсеткіші	Концепция			
	COBIT	SAC	COSO	SAS
Негізгі топ	Менеджмент, пайдаланушылар	Ішкі аудиторлар	Мәкеджер	Сыртқы аудиторлар
Ішкі бақылау	Нормаларды, рәсімдерді, тәсілдерді және ұйымдық құрылымдарды қоса алғанда, процестер жиынтығы	Нормаларды, рәсімдерді, тәсілдерді және ұйымдық құрылымдарды қоса алғанда, процестер жиынтығы	Процесс	Процесс

Ішкі бақылаудың ұйымдастырушылық мақсаттары	Тиімді және тиімді операциялар, құпиялық, ақпараттың тұтастығы мен қол жетімділігі. Сенімді қаржылық есептілік. Заңдар мен ережелерді сақтау (кешен)	Тиімді және тиімді операциялар. Сенімді қаржылық есептілік. Заңдар мен ережелерді сақтау (кешен)	Сенімді қаржылық есептілік. Заңдар мен ережелерді сақтау (кешен)
Компоненттер немесе аймақтар	Аймақтар: - жоспарлау және ұйымдастыру; - сатып алу және өлшеу; - жеткізу және қолдау;	Компоненттер: - бақылау ортасы; - қолмен және автоматты жүйелер; - бақылау рәсімдері.	Компоненттер: - бақылау ортасы; - тәуекел-менеджмент..

Тұжырымдамаларды талдау негізінде энергетика саласындағы ішкі бақылау жоғары басшылық қойған мақсаттар мен міндеттердің орындалуын қамтамасыз ету мақсатында жүзеге асырылатын, яғни атқарушы функцияларды орындайтын процесс деп қорытынды жасауға болады:

1 Басқарушылық шешімдер қабылдау үшін тәуекелдер туралы толық және дұрыс ақпаратпен басшылықты қамтамасыз ету;

2 Экономикалық субъектінің өз қызметін жүзеге асыруы үшін іргетасты қалыптастыру

Сонымен бірге, бақылау функциясы атқарушы орган ретінде ішкі бақылаумен шектелмеуі керек: экономикалық ортаның серпінділігі жағдайында ол экономикалық субъектінің тұрақты инновациялық дамуын қамтамасыз етуі керек, сондықтан тиімділік пен тиімділікті, Есептіліктің сенімділігі мен сақталуын қолдауға және арттыруға бағытталған стратегиялық элементті қамтуы керек. Энергетика саласындағы заңнама.

Бұл міндеттер ішкі аудитке – қызметті жетілдіруге бағытталған объективті кепілдіктер мен консультациялар беретін ұйым құрамындағы тәуелсіз органға жүктелуі мүмкін. Ұйымдағы ішкі аудиттің рөлі ішкі аудиттің халықаралық кәсіби стандарттарымен сипатталады.

Соңғы уақытта шаруашылық жүргізуші субъектілердің өзара іс-қимылы экономикалық қатынастарды қалыптастыруда басты орындардың бірін алады. Бұл өзара әрекеттестікте қаржыландыру көздерін әртараптандыру, факторинг, лизинг, микроқаржыландыру және ақшалай емес есеп айырысудың басқа түрлерін дамыту маңызды рөл атқарады.

Электр энергетикасы кәсіпорындарының қаржы-шаруашылық қызметін ішкі бақылау құрылымын қалыптастыру ішкі бақылауды жүзеге асыру бағдарламаларын әзірлеуді; ішкі бақылау ережелерін және ішкі бақылау қызметі ішіндегі функционалдық міндеттерді бөлуді қамтиды.

Кәсіпорынның ішкі бақылау жүйесі кәсіпорынның салық ауыртпалығын жүйелеу жүйесінің функционалдығын және нәтижесінде мемлекеттің қаржылық ағындарының жинақталуын ашады.

Серпінді салықтық өзгерістерді бағалау мақсатында республикалық және жергілікті бюджеттердің салық түсімдері құрылымына талдау жүргіземіз. 3-кестеде салықтардың негізгі түрлері бойынша Республикалық бюджеттің салықтық түсімдерінің құрамы мен құрылымы берілген [9].

Кесте 3 – Республикалық бюджеттің салық түсімдерінің құрамы мен құрылымы

Көрсеткіштер	2019 жыл		2020 жыл			2021 жыл		
	Сомасы, млрд. теңге	Үлесі, %	Сомасы, млрд. теңге	Үлесі, %	Өсу қарқыны, %	Сомасы, млрд. теңге	Үлесі, %	Өсу қарқыны, %
Салықтық түсімдер	6835,513	100	5575,862	100	81,57	7057,943	100	126,58
Мұнай секторы ұйымдарының заңды тұлғаларынан алынатын корпоративтік табыс салығы	1974,763	28,89	1562,092	28,02	79,10	2095,759	29,69	134,16
ҚҚС	2693,127	39,4	2532,524	45,42	94,04	2802,593	39,7	110,66
Акциздер	106,498	1,56	105,144	1,89	98,73	111,277	1,58	105,83
Түсімдерді қоспағанда, пайдалы қазбаларды өндіруге салынатын салық мұнай секторы ұйымдарынан	-	-	-	-	-	449,863	6,37	-
Халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға салынатын салықтар	1563,201	22,87	928,553	16,65	59,40	1482,994	21,01	159,71

Ресми сандар қаралып отырған кезең ішінде республикалық бюджеттің құрылымы тұрақты екенін, түсімдердің жалпы сомасындағы үлес салмағы бойынша салықтар мынадай ретпен бөлінгенін көрсетеді:

- 2019 жылы – ҚҚС – 39,4 %, КТС – 28,89 %, халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға салынатын салықтар-22,87 %, акциздер-1,56 %;

- 2020 жылы – ҚҚС – 45,42 %, КТС – 28,02 %, халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға салынатын салықтар – 16,65 %, акциздер-1,89 %;

- 2021 жылы – ҚҚС – 39,7 %, КТС – 29,69 %, халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға салынатын салықтар – 21,01 %, пайдалы қазбаларды өндіруге салынатын салық-6,57 %, акциздер-1,58 %.

Абсолюттік параметрлерді талдау 2020 жылы республикалық бюджеттің салық түсімдерінің жалпы сомасы 1259,651 млрд. теңгеге немесе 18,43% - ға төмендегенін, теріс мәндер салықтардың барлық түрлері бойынша қалыптасқанын көрсетті: корпоративтік табыс салығы 412,671 млрд. теңгеге немесе 20,9 % - ға, қосылған құн салығы 160,603 млрд. теңгеге немесе 6 % - ға, акциздер 1,354 млрд. теңгеге немесе 1,27 %, халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға салынатын салықтар 634,648 немесе 40,6 %. Осылайша,

бюджетке жанама салықтардың түсуі іс жүзінде 2019 ж. деңгейінде қалды, ал басқа салықтық түсімдер коронакризистің теріс факторларын көрсетеді, халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға және корпоративтік табыс салығына салынатын салықтар едәуір төмендеді.

2021 жылы экономикалық ахуалдың тұрақтануына байланысты республикалық бюджеттің салықтық түсімдері олардың түрлері бөлінісінде мынадай өсу қарқынымен және 2020 жылғы деңгейге қарағанда абсолюттік өсіммен сипатталады: халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға салынатын салықтар – 159,7 % немесе 554,44 млрд. теңге, корпоративтік табыс салығы – 134 % немесе 533,667 млрд. теңге, ҚҚС – 110,6 % немесе 270,069 млрд. теңге, акциздер – 105,8 % немесе 6,133 млрд. теңге. Алымдардың ең көп көлемі 2802, 593 млрд сомасына қосылған құн салығы есебінен шоғырландырылды. 39,7 %, корпоративтік табыс салығы – 2095,759 млрд. теңге немесе 29,69 %, халықаралық сауда мен сыртқы операцияларға салынатын салық – 1482,994 млрд. теңге немесе 21 %, пайдалы қазбаларды өндіруге салынатын салық – 449,863 млрд. теңге немесе 6,37 %, акциздер – 111,277 млрд. теңге немесе 1,58 %.

4-кестеде салықтардың негізгі түрлері бойынша жергілікті бюджеттердің салықтық түсімдерінің құрамы мен құрылымы берілген.

Кесте 4 – Жергілікті бюджеттердің салықтық түсімдерінің құрамы мен құрылымы

Көрсеткіштер	2019 жыл		2020 жыл			2021 жыл		
	Сомасы, млрд. теңге	Үлесі, %	Сомасы, млрд. теңге	Үлесі, %	Өсу қарқыны, %	Сомасы, млрд. теңге	Үлесі, %	Өсу қарқыны, %
Салықтық түсімдер	2380,960	100	2985,34	100	125,38	3666,375	100	122,81
Жеке табыс салығы	876,323	36,81	1562,09	52,33	178,26	1866,476	50,91	119,49
Әлеуметтік салық	696,634	29,26	727,139	24,36	104,38	841,278	22,95	115,70
Меншікке салынатын салықтар	395,513	16,61	369,411	12,37	93,40	420,965	11,48	113,96
Акциздер	236, 911	9,95	327,509	10,97	138,24	357,205	9,74	109,07

Жергілікті бюджеттердің салық түсімдерін талдау 2020-2021 жылдары алымдардың құрылымы біршама өзгергенін көрсетті. 2019 жылы салмақтық үлестер: жеке табыс салығы – 36,81 %, әлеуметтік салық – 29,26 %, Меншікке салынатын салықтар – 16,61 %, акциздер – 9,95% құрады. 2020 жылы құрылым мынадай түрге ие болды: жеке табыс салығы – 52,33 %, әлеуметтік салық – 24,36%, Меншікке салынатын салықтар – 12,37 %, акциздер – 10,97 %. 2021 ж. үлес салмағы: жеке табыс салығы – 50,91 %, әлеуметтік

салық – 22,95 %, Меншікке салынатын салықтар – 11,48 %, акциздер – 10,97 9,74 құрады. Соңғы екі жылда жеке табыс салығының үлесі Әлеуметтік салық пен меншік салығы үлесінің төмендеуі есебінен артты.

Қорытындылар

Жергілікті бюджеттердің салық түсімдерінің серпіні оң, абсолюттік мәнде салықтардың барлық түрлері бойынша жыл сайын ұлғаюу байқалады, тіпті пандемия кезеңінде де оларды бұрынғы деңгейде сақтап қалуға мүмкіндік туды.

Ұйым ішінде жүргізілген жұмыстарға жүйелі көзқарасты дамыту ішкі бақылау қызметін бөлімшелер мен лауазымды тұлғалардың қызметі туралы қажетті және жеткілікті ақпаратпен қамтамасыз етуге қызмет етеді. Бұл тәсіл ұйымды модельдеуді, кәсіпорындардың, кешендерінің тұрақты даму стратегиясының нәтижелерін тек ішкі бақылау қызметі ғана емес, сонымен қатар ұйым басшылығы да талап етеді. Бұл тұрғыда модельдеу құралы ретінде жұмысты сипаттау стандарты (бизнес-процестер) қолданылуы мүмкін.

Ішкі бақылау жүйесінің сипаттамаларының толықтығы үшін оның тиімділігін бағалау үлкен мәнге ие, бұл жеке ішкі бақылау жүйелерінің сапалық сенімділігін қарастыруға және олардың сапалық айырмашылығын анықтауға мүмкіндік береді.

Күн сайын кәсіпорындардың алдында энергиямен жабдықтаудың сенімділігін қамтамасыз ету, өндірілетін өнімнің өзіндік құнындағы энергетикалық құрауышты азайту, экологиялық талаптарды сақтау және т.б. сияқты мәселелер туындайды. Энергияның маңыздылығын кез-келген қымбат өнім сияқты басқаруды қажет ететін ресурс ретінде тану энергетикалық және экологиялық тиімділікті жақсартуға және кәсіпорын шығындарын азайтуға бағытталған алғашқы қадам болып табылады.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Воропай, Н. И.** Будущие электроэнергетические системы - тенденции и проблемы / Н. И. Воропай, А. Б. Осак // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. Москва, 2020. – № 4. – С. 2–4.

2 **Леонов, Е. Н.** Распределенная энергетика как перспектива развития электротехнических систем / Е. Н. Леонов // Главный энергетик. – 2018. – № 1–2, С. 84–95.

3 **Бурцев, В. В.** Внутренний контроль: основные понятия и организация проведения // Менеджмент в России и за рубежом. – 2020. – № 4.

4 **Евдокимова, А. В., Пашкина, И. Н.** Внутренний аудит и контроль финансово-хозяйственной деятельности организации. – Москва : Изд-во

«Научная книга», 2007. 3. Рассказова-Николаева С. А. Внешний аудит и внутренний контроль: организация оптимального взаимодействия // Экономика и жизнь. – 2020. – № 2.

5 **Мустафина, Р. М., Мустафина, Г. М., Танат, А. Х.** Исследование электроэнергетической безопасности регионов Казахстана методом индикативного анализа. / Р. М. Мустафина, Г. М. Мустафина, А. Х. Танат // Вестник ПГУ. Серия энергетическая. № 2. – 2008. С. 33–47.

6 **Даукей, С. Ж.** Декарбонизация добывающих отраслей экономики Республики Казахстан: монография / Под ред. академика НАН РК, д.т.н., проф. С. Ж. Даукей. – Нур-Султан : Ви-ПРИНТ, 2021. – 220 б.

7 Кодекс РК «О налогах и других обязательных платежах в бюджет» от 25 декабря 2020 года № 120-VI [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=36148637&pos=4;-106#pos=4;-106](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=36148637&pos=4;-106#pos=4;-106)

8 **Леонов, Е. Н.** Распределенная энергетика как перспектива развития электротехнических систем / Е. Н. Леонов // Главный энергетик. Минск, 2020. – № 1–2, С. 84–95.

9 **Илюшин, П. В.** Преимущества и общесистемные эффекты от интеграции объектов распределенной генерации в распределительные сети / П. В. Илюшин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2020. – № 1. – С. 17–23.

10 **Илюшин, П. В.** Анализ показателей надежности современных объектов распределенной генерации / П. В. Илюшин, В. О. Самойленко // Промышленная энергетика. – 2019. – № 1. – С. 8–16.

## REFERENCES

1 **Voropai, N. I.** Buduşie elektroenergeticheskie sistemy - tendensii i problemy [Future electric power systems - trends and problems / N. I. Voropai, A. B. Osaka] // Electro. Electrical engineering, electric power industry, electrical industry. Moscow, 2020. – № 4. – P. 2–4.

2 **Leonov, E. N.** Raspredelelnaia energetika kak perspektiva razvitiia elektrotehnicheskikh sistem [Distributed power engineering as a perspective for the development of electrical systems] / E. N. Leonov // Chief Power Engineer. – 2018. – № 1–2, . P. 84–95.

3 **Burtsev, V. V.** Vnutrenni kontrol: osnovnye ponatiia i organizatsia provedeniia [Internal control: basic concepts and organization of the // Management in Russia and abroad. – 2020. – № 4.

4 **Evdokimova, A. V., Pashkina, I. N.** Vnutrenni audit i kontrol finansovo-hozyaistvennoi deiatelnosti organizatsii [Internal audit and control of financial and economic activities of the organization]. – Moscow : Publishing house “Scientific

Book”, 2007. 3. Rasskazova-Nikolaeva S. A. External audit and internal control: organization of optimal interaction // Economy and life. – 2020. – № 2.

5 **Mustafina, R. M., Mustafina, G. M., Tanat, A. H.** İssledovanie elektroenergeticheskoi bezopasnosti regionov Kazahstana metodom indikativnogo analiza. / R. M. Mustafina, G. M. Mustafina, A. H. Tanat // Vestnik PGU. Seria energie [Study of the electric power safety of the regions of Kazakhstan by the method of indicative analysis]. / R. M. Mustafina, G. M. Mustafina, A. H. Tanat // Bulletin of PSU. The energy series. № 2. 2008. P. 33–47.

6 **Daukey, S. J.** Dekarbonizatsia dobyvaiuşih otraslei ekonomiki Respubliki Kazahstan: monografi [Decarbonization of extractive industries of the Republic of Kazakhstan: monograph] / Ed. Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, professor S. Zh. Daukey. – Nur-Sultan : Bi-PRINT, 2021. – 220 p.

7 Kodeks RK «O nalogah i drugih obäzatelnyh platejah v büdjet» ot 25 dekabrä 2020 goda № 120-VI [Code of the Republic of Kazakhstan “On Taxes and other mandatory payments to the Budget” dated December 25, 2020 №. 120-VI] [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=36148637&pos=4;-106#pos=4;-106](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=36148637&pos=4;-106#pos=4;-106)

8 **Leonov, E. N.** Raspredeleñnaia energetika kak perspektiva razvitiia elektrotehnicheskikh sistem [Distributed power engineering as a perspective for the development of electrical systems] / E. N. Leonov // Chief Power Engineer. Minsk, 2020. – № 1-2, P. 84-95.

9 **Ilyushin, P. V.** Preimuşestva i obşesistemnye efekty ot integrasii obektov raspredeleñnoi generasii v raspredeleñitelnye seti [Advantages and system-wide effects of integration of distributed generation facilities into distribution networks] / P. V. Ilyushin // Electrical equipment: operation and repair. – 2020. – № 1. – P. 17–23.

10 **Ilyushin, P. V.** Analiz pokazatelei nadejnosti sovremennykh obektov raspredeleñnoi generasii [Analysis of reliability indicators of modern distributed generation facilities] / P. V. Ilyushin, V. O. Samoilenko // Industrial energy. – 2019. – №1. P. 8–16.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

\*Г. О. Мусекенова<sup>1</sup>, И. В. Мамонова<sup>2</sup>, Д. С. Уразалимова<sup>3</sup>,  
Л. А. Пopp<sup>4</sup>, С. В. Золотарева<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар  
Материал поступил в редакцию 15.12.22.

## ВНУТРЕННИЙ КОНТРОЛЬ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКОЙ

*Электроэнергетика относится к базовым отраслям экономики. Среди ее основных индикаторов – растущие потребности индустриализации, бесперебойное энергоснабжение населения, обеспечение энергетической независимости и безопасности страны.*

*Оценку состояния энергетической отрасли, механизмов решения существующих проблем в организационной структуре рынков электроэнергии и электроэнергетики в целом, тарифной политике и пр., а также обоснование необходимости разработки системы внутреннего контроля на предприятиях отрасли. В условиях экономической турбулентности и появления новых форм ведения бизнеса усиливается влияние контрольной функции на положение хозяйствующего субъекта на энергетическом рынке для того, чтобы обеспечивать достижение поставленных перед внутренним контролем целей, она должна быть адаптирована к меняющимся условиям деятельности экономического субъекта.*

*Сегодня во всем мире, особенно в тех регионах, в которых энергетические ресурсы не являются главной составляющей национального богатства, проблемы организации и использования эффективных управленческих систем, являются особо актуальными. Помимо технических мер требуется системный подход, позволяющий внедрить управленческие решения на предприятиях любого типа.*

*Энергетический потенциал Казахстана привлекает пристальное внимание многих стран, а проводимая руководством предприятий Казахстан успешная экономическая политика обеспечивает благоприятный инвестиционный климат.*

*Ключевые слова: внутренний контроль, модель, электроэнергетика, анализ, концепция, системный подход, контрольная функция, управление.*

\*G. O. Musekenova<sup>1</sup>, I. V. Mamonova<sup>2</sup>, D. S. Urazalimova<sup>3</sup>,  
L. A. Popp<sup>4</sup>, S. V. Zolotareva<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar  
Material received on 15.12.22

## INTERNAL CONTROL AS A KEY ELEMENT IN ELECTRIC POWER MANAGEMENT

*Electricity belongs to the basic sectors of the economy. Among its main indicators are the growing needs of industrialization, uninterrupted energy*

*supply of the population, ensuring the country's energy independence and security.*

*Assessment of the state of the energy industry, the mechanisms of solving existing problems in the organizational structure of electricity markets and electric power industry as a whole, tariff policy, etc., as well as justification of the need to develop a system of internal control at industry enterprises. In the context of economic turbulence and the emergence of new forms of doing business, the influence of the control function on the position of an economic entity in the energy market is strengthened in order to ensure the achievement of goals set before internal control, it should be adapted to the changing conditions of the economic entity.*

*Today, all over the world, especially in those regions in which energy resources are not the main component of national wealth, the problems of organizing and using effective management systems are especially relevant. In addition to technical measures, a systematic approach is required to implement management decisions at enterprises of any type.*

*Keywords: internal control, model, electric power industry, analysis, concept, system approach, control function, management.*

FTAMP 44.31.35

[doi.org/10.48081/TLFN8394](https://doi.org/10.48081/TLFN8394)

**\*Б. Б. Мырзабай<sup>1</sup>, К. М. Дюсенов<sup>2</sup>, С. Б. Садықова<sup>3</sup>,  
А. Б. Гаряев<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, 010000, Қазақстан

Республикасы Республикасы

<sup>4</sup>МЭИ, Мәскеу қаласы, Ресей Федерациясы

### **КАВИТАЦИЯЛЫҚ ӘСЕРДІҢ СУДЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСКЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ**

Әр түрлі уақыт режимінде гидродинамикалық кавитация әсерінен кейін тазартылған және ағынды суларды зерттеу нәтижелері келтірілген. Кавитацияның әсер ету уақытына байланысты температураның, электр өткізгіштіктің, рН мәнінің, тотығу-тотықсыздану потенциалының, оттегінің құрамының өзгеруі тәуелділігі көрсетілген. Суды өңдеу электр қозғалтқышының қуаты 2,7 кВт роторлы типтегі кавитациялық стендте жүргізілді; жұмыс камерасының көлемі 15 л; кавитация саны  $\chi=0,01$ . 15 литрлік суды өңдеу суперкавитациялық стендтің көмегімен келесі параметрлермен жүзеге асырылды: электр қозғалтқышының қуаты 4 кВт, жұмыс камерасының көлемі 15 л, төрт жүзді сына тәрізді кавитатордың айналу жылдамдығы 2880 айн/мин, кавитация саны  $\chi = 0,01$ . Сонымен қатар, белсендірілген суды кавитациялық өңдеудің оптималды белгіленген уақыты анықталған. Кавитациялық әсерден кейін 30, 60, 90 және 300 сек өңдеу уақытымен үлгілерде 5 мин қадаммен 200 минут ішінде белсендірілген судың рН мәндерін өлшеу жүргізілді. 12 күн ішінде электр өткізгіштік пен рН мәні тұрақты мәнді алды, бірақ 5 күннен кейін де кавитация әсеріне дейін бастапқы мәнге оралмайды. Осы уақыт ішінде барлық үлгілер үшін рН көрсеткіштері бастапқы мәнге оралмады.

Эксперимент нәтижелері ағынды суларды тазарту үшін технологияны қолдану мүмкіндігін көрсетті.

Кілтті сөздер: кавитация технологиясы, белсендірілген су, ағынды сулар, суперкавитация, судың физика-химиялық сипаттамалары.

**Кіріспе**

Су жердегі барлық тіршіліктің болуында ерекше рөл атқарады. 1991 жылдан бастап жыл сайын Стокгольм халықаралық су институтының (Швеция) бастамасымен дүниежүзілік су апталығы өткізіледі. 2011 жылдың тамызында өткізілген осы іс-шараның аясында су сапасының қажетті стандарттарына қол жеткізу үшін жоғары технологиялық су тазарту және су дайындау шешімдерін іздеуге ерекше назар аудару ұсынылды, өйткені халықты таза тұщы сумен қамтамасыз ету мәселесі өзекті бола түсуде.

Қазіргі уақытта гидродинамикалық генераторлар негізінде ластанудың кез-келген түрінен суды жоғары өнімді тазартуға арналған құрылғылар кеңінен қолданылады. Суды тиімді тазарту үшін кавитациялық генераторларды пайдалану бұл жаңа перспективалы, энергетикалық тұрғыдан аз шығынды, қалдықсыз кавитациялық технология [1]. Соңғы жылдардағы көптеген зерттеулер оның тиімділігін көрсетеді [2,3]. Мұндай құрылғылардың шығуында таза зарарсыздандырылған су алынады.

Гидродинамикалық генераторлардың жұмыс процесінде суда жоғары энергетикалық әсерлер пайда болады (суық қайнау немесе кавитация), бұл суды тиімді тазартуға ықпал етіп қана қоймай, оның құрылымының өзгеруіне, физикалық-химиялық және биологиялық белсенділіктің жоғарылауына әкеледі. Осыған байланысты алынған «белсендірілген» судың қасиеттерін мұқият зерттеу қажет, өйткені су қарапайым, бірақ көп жағдайда аз зерттелген зат. Белсендірілген суды алу үшін гидродинамикалық генератордың оңтайлы жұмыс режимін орнату маңызды болып табылады.

**Материалдар мен зерттеу әдістері**

Бірқатар жұмыстар гидродинамикалық өңдеуді әртүрлі ағынды суларды тазартудың балама реагентсіз әдісі ретінде қолданудың тиімділігін көрсетеді. Гидродинамикалық су тазартуды қолдану ағынды суларды тазарту қондырғыларының технологиялық схемасының соңғы кезеңінде аз шығынды ғана емес, сонымен қатар тиімді тазарту әдісі болып табылады [3-6].

Бұл жұмыста су құбыры және дистилденген су мысалында әртүрлі факторларға байланысты оның физика-химиялық сипаттамаларының өзгеру динамикасы зерттелді: гидродинамикалық өңдеу режимдері, тұндыру уақыты, бастапқы параметрлер: сутегі рН көрсеткіші, тотық-тотықсыздану потенциалы (ТТП), меншікті электр өткізгіштік S, еріген оттегінің концентрациясы (ЕОК). Сонымен қатар, өңдеуден кейін алынған су параметрлерінің релаксация уақыты анықталып, жаңа мәндер орнатылды. Нәтижелер белгілі бір сипаттамалары бар суды алу үшін белгілі бір өңдеу режимдері бар гидродинамикалық кавитаторды пайдалануға мүмкіндік береді.

**Нәтижелер және талқылау**

Тазартылған және ағын судың физикалық-химиялық параметрлері.

Кавитациялық әсердің судың қасиеттеріне әсерін зерттеудің тазалығы үшін оның бастапқы параметрлері анықталды: ТТП, электр өткізгіштік және рН. Тазартылған су алынғаннан кейін де, оны жинағаннан кейін де осы параметрлердің ауытқуы бар екендігі анықталды. Кавитациялық өңдеудің әсерін зерттеу үшін тұрақтандырылған суды пайдалану қажет, өйткені ТТП, электр өткізгіштік және рН мәндерінің ауытқуы аралас нәтижелерге әкелуі мүмкін. [7–8] жұмыстары сонымен қатар тұрақты магнит өрісіне, электромагниттік өріске және механикалық тербеулерге ұшыраған кезде судың «жасына» (дистиллят немесе ағын судың тұндыруынан кейінгі уақыт) электр өткізгіштігінің сапалық көрсеткіштеріне әсері туралы хабарлайды.

1-суретте су құбыры суып алынғаннан кейін бес тәулік ішінде ТТП, электр өткізгіштік және рН өлшеу нәтижелері көрсетілген. Регрессиялық талдау әдісімен осы параметрлердің уақытқа тәуелділік теңдеулері анықталды. Ұсынылған графиктерде мәндердің ауытқуы алғашқы төрт күнде пайда болатынын көруге болады, содан кейін су тұрақты (теңдестірілген) күйге ие болады.

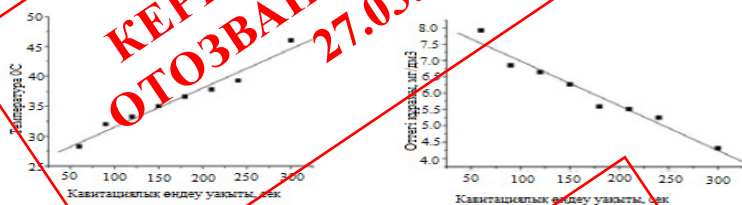


Сурет 1 – Ағын судың физикалық-химиялық параметрлерін оны жинағаннан кейін бес тәулік ішінде өзгеруі

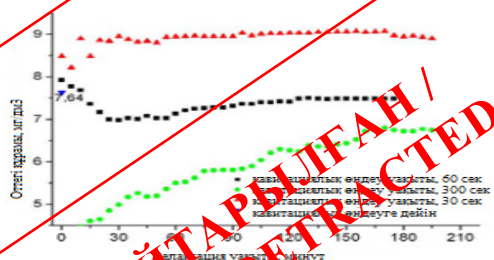
Осылайша, кавитацияның судың физика-химиялық қасиеттеріне әсерін зерттеу үшін судың «жасын» ескеру қажет, бұл жағдайда су құбырынан суды алғаннан кейін бесінші күні пайдалану керек.

Кавитациялық белсендірілген тазартылған судың физика-химиялық параметрлері

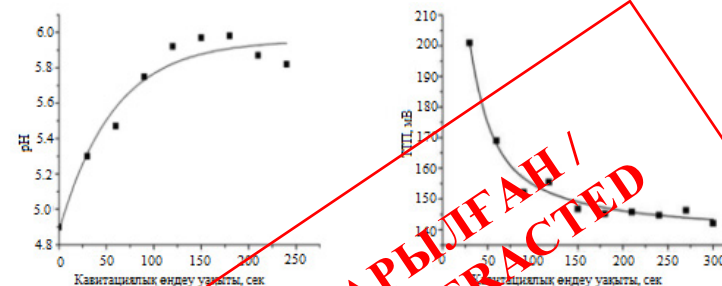
[2,3] жұмыстарда тазартылған суды өңдеудің онтайлы параметрлері кавитация сандарына сәйкес келетіндігі анықталды. Сондықтан, тәжірибелерде өңдеу суперкавитация режимінде жүргізілді ( $\chi = 0,01$ ), ротордың тұрақты айналу жиілігінде  $n = 2880$  ай/мин. өңделген су көлемі 15 л. 2 және 3-суреттерде дистилденген судың физикалық-химиялық қасиеттерінің кавитациялық өңдеу рақытына графикалық тәуелділігі түріндегі өлшеу нәтижелері келтірілген.



Сурет 2 – Кавитациялық өңдеу уақыты мен релаксация уақытына байланысты тазартылған судың еріген оттегі концентрациясының өзгеруі



Сурет 3 – Кавитациялық өңдеу уақытына байланысты тазартылған судың физика-химиялық параметрлерінің өзгеруі



Сурет 3 – Кавитациялық өңдеу уақытына байланысты тазартылған судың физика-химиялық параметрлерінің өзгеруі

Өңдеу уақытының ұлғаюымен кавитация кезінде су температурасының 40% – дан астам жоғарылауы байқалады. Бұл пульсацияға және кавитациялық көпіршіктердің кейінгі құлауына байланысты [1,2]. Температураның өңдеу уақытына тәуелділігі сызықтық температураның өзгеру қарқындылығы  $t_{\alpha} = 0,04$  тұзу бұрышының тангенсімен сипатталады (сурет 2). Алынған эксперименттік деректерде жұмыс нәтижелерімен жақсы үйлеседі [2,3].

Судың ЕОК өзгеруінің кавитациялық әсер ету уақытына эксперименттік тәуелділігі 2-суретте көрсетілген әр нүкте бес өлшемнің орташа мәні бойынша салынған. ЕОК анықтаудың салыстырмалы қателігі – 2,5%. Судағы оттегінің концентрациясы кавитацияның әсер ету уақыты ұлғайған сайын сызықтық түрде төмендейді. ЕОК өзгеру қарқындылығы тұзу  $t_{\alpha} = 0,01$  көлбеу бұрышының тангенсімен сипатталады.

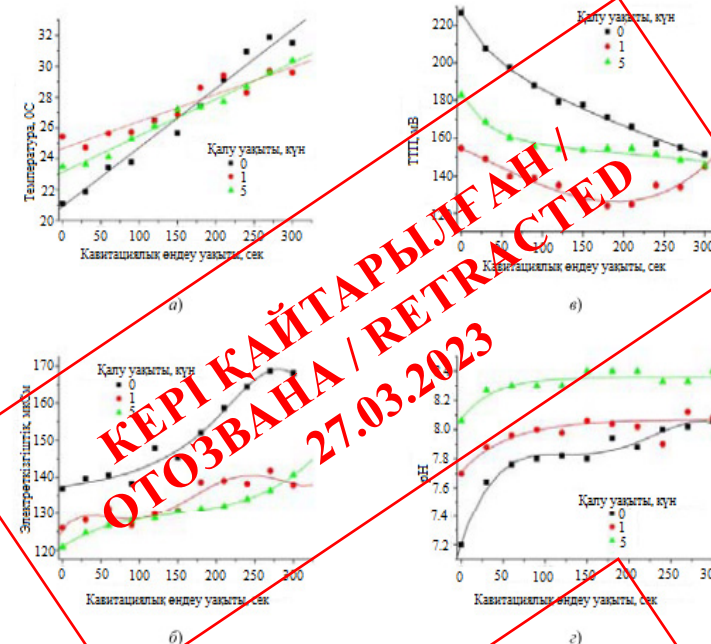
30, 60, 90 және 300 сек өңдеу уақытымен үлгілерде 5 мин қадаммен ~ 200 минут ішінде белсендірілген судың ЕОК мәндерін өлшеу ЕОК мәндерінің дистилденген судың мәндеріне жақын мәндерге дейін жоғарылауы алғашқы



100 минут ішінде байқалғанын, бірақ 200 мин кезінде ЕОК бастапқы мәніне жетпегенін көрсетті (сурет 2).

3-суретте рН өңдеу уақытына тәуелділігі көрсетілген. Сутегі рН көрсеткіші кавитациялық әсер ету уақытының ұлғаюымен артады. Өңдеу уақыты 180 сек болғанда, белсендірілген судың максималды рН мәні мен бастапқы дистилляттың ( $\Delta pH_{max}$ ) рН арасындағы айырмашылық 1,1 болды. рН-ның ең қарқынды өзгеруі 30-90 сек аралығына сәйкес келеді, бұл диапазонда рН 15 % – ға артады, ал рН-ның максималды жоғарылауы 18 % құрайды. 30–90 сек диапазонында кавитациялық әсер ету кезінде рН өзгеру жылдамдығы 90–300 сек диапазонында әсер ету кезінде рН өзгеру жылдамдығынан екі есе дерлік жоғары.

Суды кавитациялық өңдеу процесінде ТТП жүру динамикасы 4в-суретте көрсетілген. ТТП ағын судың салыстырмалы қателігі – 2%. Графикте 30-90 сек аралықта ТТП-ның ең қарқынды өзгеру учаскесі байқалады. ТТП 43 % – ға төмендейді, ал ТТП-ның максималды төмендеуі 47 % құрайды, бірақ теріс мәндерді қабылдамайды. 30-90 сек диапазонында кавитациялық әсер ету кезінде ТТП өзгеру жылдамдығы 90–300 сек диапазонында әсер ету кезінде ТТП өзгеру жылдамдығынан үш есе дерлік жоғары. Айта кету керек, жұмыста [9] суға ультрадыбыспен әсер еткенде, судың рН-ның оңтайлы өзгеруі 1 минут ішінде өңделгенде байқалады. Белсендірілген судың ТТП мәндерін ~ 200 минут ішінде өңдеу уақыты 30, 60, 90 және 300 сек болатын үлгілерде 5 мин қадаммен өлшеу жүргізілді. ТТП-ны тазартылған судың мәндеріне жақын мәндер алғашқы 40 минутта байқалды.



Сурет 4 – Кавитациялық өңдеу уақытынан 1 және 5 тәулік ішінде тұндырылмаған және тұндырылған ағын судың физика-химиялық параметрлерінің тәуелділігі

Әр түрлі ұзақтықтағы (30–300 сек) кавитациялық әсерлердің тазартылған суға әсерін анықтау бойынша бірқатар эксперименттерде электр өткізгіштігінің жоғарылауы анықталды (сурет 3). Бастапқы дистилляттың электр өткізгіштік мәні  $735 \text{ мкОм/см}$  болды, бұл құрылғының төмен сезімталдығына байланысты. 30, 60 және 90 сек өңдеу уақытымен үлгілерде 5 мин қадаммен ~ 200 минут ішінде белсендірілген судың электр өткізгіштігі өзгерді және  $719 \text{ мкОм/см}$  ге сен болды [10].

Кавитациялық белсендірілген ағын суының физика-химиялық параметрлері

Ағын судың физика-химиялық параметрлерін зерттеу дистилденген суға арналған зерттеулерге ұқсас жүргізілді: кавитация саны  $\chi = 0,01$ ; ротордың айналу жиілігі  $n = 2880$  айн/мин; өңделетін су көлемі 15 л. экспериментте әр түрлі тұндыру уақыты бар ағын су пайдаланылды (оны тергеннен кейінгі уақыт): 0, 1 және 5 күн. Эксперименттердің нәтижелері 4-суретте графикалық түрде берілген.

Өңдеу уақытының ұлғаюымен кавитация кезінде 3 үлгі үшін су температурасының шамамен 30 % жоғарылауы байқалады (сурет 4а). Температураның өңдеу уақытына тәуелділігі сызықтық, судың тұндыру уақыты ұлғайған сайын температураның өзгеру қарқындылығы төмендейді:  $\text{tg}\alpha=0,02-0,04$ . Графикалық тәуелділіктерден 180 сек суға кавитациялық әсер ету кезінде үш түзудің жалпы нүктесін ажыратуға болады.

Өңдеу уақытының ұлғаюымен кавитация кезінде үш үлгі үшін су температурасының шамамен 30 % жоғарылауы байқалады (сурет 4а). Температураның өңдеу уақытына тәуелділігі сызықтық, судың тұндыру уақыты ұлғайған сайын температураның өзгеру қарқындылығы төмендейді:  $\text{tg}\alpha=0,02-0,04$ . Графикалық тәуелділіктерден 180 сек суға кавитациялық әсер ету кезінде үш түзудің жалпы нүктесін ажыратуға болады.

Кавитациялық өңдеу кезінде судың электр өткізгіштігінің мәні кавитация уақыты мен тұндыру уақыты ұлғайған сайын өсті. Электр өткізгіштігінің ең қарқынды өзгеруі тұрақсыз су үшін байқалды (сурет 4б).

Суды кавитациялық өңдеу процесінде ТТП жүру динамикасы 4в-суретте көрсетілген. ТТП анықтаудағы салыстырмалы қателік 35 % құрады. Графикте тұрақсыз су үшін 30–220 сек және 1 және 5 тәулік ішінде орныққан су үшін 30–90 сек интервалында ТТП неғұрлым қарқынды өзгеру учаскесі байқалады. ТТП тиісінше 23,9 және 20 % - ға төмендейді, бірақ теріс мәндерді қабылдамайды. 30–90 с диапазонында кавитациялық әсер ету кезінде ТТП өзгеру жылдамдығы тұндырылған су үшін 90–300 с диапазонында әсер ету кезінде ТТП өзгеру жылдамдығынан үш есе дерлік жоғары. 4г суретте рН өңдеу уақытына тәуелділігі көрсетілген. Сутегі рН көрсеткіші кавитациялық әсер ету уақытының ұлғаюымен артады. рН-ның ең қарқынды өзгеруі, тазартылған су сияқты, 30–90 сек аралығына сәйкес келеді.

Сондай-ақ, екі режиміндегі кавитация әрекетін салыстыру үшін жоғарыда сипатталған су параметрлерінің тәуелділігі келтірілген. Кавитация режимі үшін барлық параметрлердің неғұрлым қарқынды өзгерісі байқалды.  $\chi = 0,01$  кавитация режимі үшін 5 мин қалайша ~ 200 минут ішінде және өңдеу уақыты 30, 60 және 150 сек болатын үлгілерде 1 тәулік қадаммен 4 күн ішінде белсендірілген тұрақсыз судың ТТП, рН және электр өткізгіштігінің мәндерін өлшеу жүргізілді, одан соң ТТП тұрақты мәнге ие болды.

#### Қорытынды

Судың гидродинамикалық кавитациялық әсерге реакциясын эксперименттік зерттеу жүргізілді, кавитация сандарында  $\chi = 0,01$  және әсер ету уақытына байланысты ротордың айналу сандары 2880 айн/мин. Судың физика-химиялық қасиеттерінің өзгерістері анықталды (электр өткізгіштік, сутегі көрсеткіші (рН), тотығу-тотықсыздану потенциалы, оттегі мөлшері және т.б.), суды кавитациялық өңдеудің ұтымды ұзақтығы белгіленді. Бұл

жағдайда температура, рН және электр өткізгіштігінің жоғарылауы, ТТП және ЕОК төмендеуі байқалады. рН мен ТТП-нің ең қарқынды өзгеруімен уақыт диапазоны анықталды. 30–90 сек аралығындағы рН мен ТТП шамасының өзгеру жылдамдығы 90–300 сек аралығынан үш және екі есе жоғары. Бұл нәтижелер ультрадыбыстың (44 кГц) суға әсерін зерттеу нәтижелерімен жақсы корреляцияланады.

рН максималды мәніне 180 сек кавитациялық әсер ету арқылы қол жеткізілетіні анықталды. ТТП минималды мәні 300 сек кавитациялық өңдеу кезінде қабылданады, бірақ оң мәндер аймағында қалады.

Релаксация кезінде гидродинамикалық кавитациялық өңдеудің барлық өлшенген параметрлері (температура, ЕОК, рН, ТТП, электр өткізгіштік) кезінде 200 минут ішінде өңдеуден кейін белсендірілген су бастапқы күйіне қайтарылмайтыны көрсетілген.

#### ПАЙДАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Ивченко, В. М., Кулагин, В. А., Немчин, А. Ф. Кавитационная технология. Красноярск : Изд-во КГУ, 1990. 200 с.
- 2 Демиденко, Н. Д., Кулагин, В. А., Шокин, Ю. И. Моделирование и вычислительные технологии распределенных систем. Новосибирск: Наука, 2012. 424 с.
- 3 Dubrovskaja, O. G., Yevstigneev, V. V., Kulagin, V. A. // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 6 (2013 6) 680–689 с.;
- 4 Кулагин, В. А., Евстигнеев, В. В. // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. 2009. Т. 14. № 6. С. 242–245.
- 5 Дубровская, О. Г., Кулагин, В. А. // Вестник КрасГАУ. 2007. № 2 (17). С. 146–153.
- 6 Дубровская, О. Г., Евстигнеев, В. В., Кулагин, В. А. // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 3. С. 26–30.
- 7 Степанян, Р. С., Айрапетян, Г. С., Аракелян, А. Г. и др. // Биофизика. 1999. Т. 44. Вып. 2. С. 197–202.
- 8 Дерпгольц, В. Ф. Мир воды. М.: Недра, 1979. 254 с.
- 9 Букацкий, В. И., Бестерюк, П. И. // Ползуновский вестник. 2010. № 2. С. 60–65.
- 10 Стебелева, О. П., Сапожникова, Е. С., Криволицкий, А. С. // Вестник ассоциации выпускников КГТУ. Красноярск: ПИК «Офсет», 2011. С. 78–83.

## REFERENCES

- 1 **Ivchenko, V. M., Kulagin, V. A., Nemchin, A. F.** Kavitatsionnaya tekhnologiya [Cavitation technology] – Krasnoyarsk: Izd-vo KGU, 1990. 200 p.
- 2 **Demidenko, N. D., Kulagin, V. A., Shokin, U. I.** Modelirovaniye i vychislitel'nyye tekhnologii raspredelennykh sistem [Modeling and computing technologies of distributed systems] – Novosibirsk : Nauka, 2012. 424 p.
- 3 **Dubrovskaya, O. G., Yevstigneyev, V. V., Kulagin, V. A.** // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Inzheneriya i tekhnologii, 6 (2013 6) 680–689 p.
- 4 **Kulagin, V. A., Yevstigneyev, V. V.** // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk ob okruzhayushchey sredy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti [Bulletin of the International Academy of Environmental Sciences and Life Safety] – 2009. T. 14. № 6. P. 242–245.
- 5 **Dubrovskaya, O. G., Kulagin, V. A.** // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]- 2007. № 2 (37). p. 146–153.
- 6 **Dubrovskaya, O. G., Yevstigneyev, V. V., Kulagin, V. A.** // Bezopasnost' zhizni [Life safety]. 2012. № 3. P. 26–30.
- 7 **Stepanyan, R. S., Ayrapetyan, G. S., Arakelyan, A. G.** i t.p. // Biofizika [Biophysics]. 1999. T. 44. Vyp. 2. P. 197–202.
- 8 **Derfol'ts, V. F.** Mir vody [The world of water]. L.: Nedra, 1979. 254 p.
- 9 **Bukatiy, V. I., Nesteryuk, P. I.** // Polzunovskiy vestnik [Polzunovsky Bulletin]. 2010. № 2. P. 60–65.
- 10 **Stebeleva, O. P., Sapozhnikova, Ye. S., Krivolutskiy, A. S.** // Vestnik obyedineniya vypusnikov KGTU [Bulletin of the KSTU graduates Association]. Krasnoyarsk : PIK «Ofset», 2011. P. 78–83.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

\*Б. Б. Мырзабай<sup>1</sup>, К. М. Дюсенов<sup>2</sup>, С. Б. Садькова<sup>3</sup>, А. Б. Гаряев<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> ЕНУ имени Л. Н. Гумилев, Республика Казахстан, г. Астана,

<sup>4</sup> МЭИ, Российская Федерация, г. Москва,

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

### ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННОГО ЭФФЕКТА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Приведены результаты исследований очищенных и сточных вод после воздействия гидродинамической кавитации в различных временных интервалах. В зависимости от времени действия кавитации показано изменение температуры, электропроводности, значения рН, окислительно-восстановительного потенциала, содержания

кислорода. Обработка воды производилась на кавитационном стенде роторного типа мощностью электродвигателя 2,7 кВт; объем рабочей камеры 15 л; Количество кавитации  $\chi=0,01$ . Обработка 15-литровой воды осуществлялась с помощью суперкавитационного стенда со следующими параметрами: мощность электродвигателя 4 кВт, объем рабочей камеры 15 л, скорость вращения четырехлопастного клиновидного кавитатора 2880 об/мин, Количество кавитации  $\chi=0,01$ . Кроме того, определена оптимальная заданная продолжительность кавитационной обработки активированной воды. После кавитационного воздействия в образцах со временем обработки 30, 60, 90 и 300 сек проводили измерение значений рН активированной воды в течение 200 минут с шагом 5 мин. В течение 12 дней электропроводность и значение рН получают последующее значение, но не возвращаются к исходному значению до эффекта кавитации даже через 5 дней. За это время показатели рН для всех образцов не вернулись к исходному значению. Результаты эксперимента показали возможность использования технологии для очистки сточных вод.

Ключевые слова: технология кавитации, активированная вода, сточные воды, суперкавитация, физико-химические характеристики воды.

\*B. B. Myrzabai<sup>1</sup>, K. M. Dyusenov<sup>2</sup>, S. B. Sadykova<sup>3</sup>, A. B. Garyaev<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> L. N. Gumilev ENU, Republic of Republic of Kazakhstan, A. tana,

<sup>4</sup> MPEI, Russian Federation, Moscow

Material received on 15.12.22

### INFLUENCE OF CAVITATION EFFECT ON PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER

The results of the study of treated and wastewater after the action of hydrodynamic cavitation in different time modes are presented. Depending on the time of action of cavitation, changes in temperature, electrical conductivity, pH value, redox potential, and oxygen content are shown. Water treatment was carried out on a rotor-type cavitation stand with an electric motor power of 2.7 kW; the volume of the working chamber is 15 L; the number of cavitation  $\chi=0.01$ . The processing of 15 liters of water was carried out using a supercavitation stand with the following parameters: the power of the electric motor is 4 kW, the volume of the working chamber is 15 L, the rotation speed of the four-bladed wedge-shaped Cavimator is

2880 rpm, the number of cavitation  $\chi = 0.01$ . After cavitation exposure, measurements of the pH values of activated water were carried out in samples with a processing time of 30, 60, 90 and 300 seconds in 5 min increments for 200 minutes. Within 12 days, the electrical conductivity and pH value acquire a constant value, but even after 5 days it does not return to the original value until the cavitation effect. During this time, the pH indicators for all samples did not return to the original value.

The results of the experiment showed the possibility of using technology for wastewater treatment.

Keywords: cavitation technology, activated water, wastewater, supercavitation, physico-chemical characteristics of water.

КЕРІ ҚАЙТАРЫЛҒАН /  
ОТОВАНА / RETRACTED  
27.03.2023

FTAMP :44.01.05

[doi.org/10.48081/JCDW2916](https://doi.org/10.48081/JCDW2916)

\*С. Н. Нахан<sup>1</sup>, А. С. Расмухаметова<sup>2</sup>, А. Е. Карманов<sup>3</sup>,  
А. З. Абжекеева<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Ф. Дәукеев атындағы АЭЖБУ, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

<sup>3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

## КҮН ПАНЕЛЬДЕРІНІҢ ОРНАЛАСУЫН БАСҚАРУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ КҮН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛЫ РЕТІНДЕ

Күннің аспанда орналасуы тұрақты емес екенін және де күн панельдерінің тиімділігі күн сәулесінің траекториясына тікелей байланысты екенін ескере отырып, күн электр станцияларын пайдалану мен пайдалану тиімділігін арттыру әдістерін зерттеу қажет екені туралы сұрақ туындайды. Бұл мақалада күн панельдері жазықтығының орналасуын түзету арқылы күннің орналасуын бақылау әдісі қарастырылады, сонымен қатар күн панельдерінің орналасуын басқару жүйесінің схемасы ұсынылған. Біз трекер қондырғыларының жұмысының жалпы принциптерін зерттедік, құрылымдардың түрлерін, трекер қондырғысының құрылымын, күн электр станциялары үшін динамикалық жүйелердің артықшылықтарын егжей-тегжейлі қарастырдық. Күн батареяларын тиімді пайдалану құралы ретінде күн трекерлерін тиімді пайдалану зерттелді. Триггер құрылғыларының жұмысының жалпы принциптеріне талдау жасалды, сонымен қатар материал күн электр станциялары үшін динамикалық жүйелердің артықшылықтарын қарастырылды.

Алынған мәліметтерге сүйене отырып, осы мақалада әзірленген жүйе электр станциясының өнімділігін автоматтандырылған басқару, күн панельдерінің нақты уақыт режиміндегі жағдайын бақылау арқылы жақсартуға мүмкіндік беретіні анықталды. Жоғарыда айтылғандардан басқа, ұсынылған күн трекерін басқару жүйесі бізге күн электр станцияларын пайдаланудың максималды тиімділігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

*Кілтті сөздер: күн панелдері, трекер, триггер қондырғылары, фоторезистор, айналмалы механизм.*

### Кіріспе

Бүгінгі таңда күрделі экономикалық жағдайда, энергетикалық ресурстардың жетіспеуі мен қоршаған ортаны таза ұстауда электр энергиясының баламалы және жаңартылатын көздерін пайдалану өзекті болып отыр. Осы көздердің бірі – күн энергиясы, ол өз кезегінде күн панелдері арқылы электр энергиясына айналады.

Күн панелдерін пайдалану халық арасында тез танымал болып келеді. 2018 жылдың II тоқсанында тағы 1107 отбасы күн энергиясынан электр энергиясына көшті, ал жалпы алғанда, 4660 жеке үй шаруашылықтары қуаттылығы 90 МВт–қа жуық күн панелдерін орнатты (1.07.2018 жылға берілген).

Әрине, санның өсуімен күн электр станцияларының сапасы мен өнімділігі туралы мәселе туындайды.

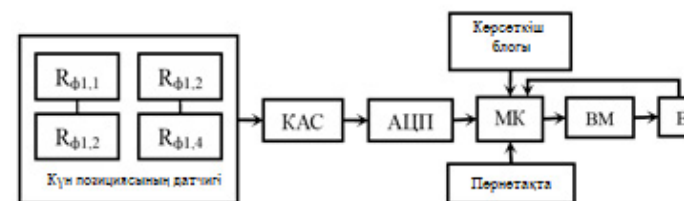
### Материалдар мен әдістер

Күн панелдерін жалғыз ретінде пайдалануға және батареяға жинауға болады. Бұл орналасудың ерекшелігі күн панелі жазықтығының Күнге қатысты қатаң бекітілген орны болып табылады, бұл оларды пайдалану тиімділігін шектейді.

ПӘК жоғарылату бағыттарының бірі–күн панелінің жазықтығының күн сәулелеріне ортогональды орналасуы. Жердің тәуліктік және жылдық қозғалысын ескере отырып, бұл жұмыстың мақсаты автоматтандырылған басқару жүйесін қолдану арқылы олардың жазықтығының Күнге қатысты көлбеу бұрышын үздіксіз түзету үшін күн панелдерінің орналасуын басқару болып табылады.

Көрсетілген мақсатқа қол жеткізу күннің орналасуын бақылау және оған сәйкес күн панелдері жазықтығының нақты уақыт режимінде орналасуын түзету арқылы қамтамасыз етіледі. [2]

Бұл әдісті жүзеге асыру үшін микроконтроллерді басқару жүйесі бар құрылғы жасалды (сур.1), онда төрт жарық сенсоры бар ( $R_{f1.1}$ ,  $R_{f1.2}$ ,  $R_{f2.1}$ ,  $R_{f2.2}$ ), микроконтроллер (МК), аналогтық–цифрлық түрлендіргіш (АЦП), аналогтық сигнал қосқышы (КАС), атқарушы механизм (ВМ), энкодер (Е), индикация блогы (индикация) және енгізу блогы (клавиатура)



Сурет 1 – Күн панелдерінің орналасуын басқару жүйесінің құрылымдық диаграммасы

Басқару жүйесінің жұмыс принципі келесідей: жүйені қосқан кезде Күннің орналасу сенсорына және ең көп жарықтандырылған (жұпта) фоторезисторды ( $R_{1\_min}$ ,  $R_{2\_min}$ ) анықтауға сауалнама басталады. Фоторезистордың сезімтал бетіне түсетін жарық мөлшері оның кедергісіне пропорционалды. КАС–дағы сигналдарды ауыстыру үшін микроконтроллердің кодтар тізбегінің мекен–жайы бойынша берілуі қажет, бұл сауалнаманы қажет ететін фоторезистордың реттік нөмірін ( $R_{fn}$ ) білдіреді.

Қазіргі уақытта фоторезистордың кедергі мәні АЦП көмегімен сандық түрге айналады және микроконтроллермен өңделеді. Осылайша, микроконтроллер АЦП–ге қосылған КАС портының мекен–жайын кезекпен өзгертеді. [1]

Көрсетілген датчик күн панелінің әр жағында орналасқан екі жұп фоторезистордан тұрады. Фоторезистордың жарыққа сезімтал бетіне жарықтың түсуі өлшеу көпір тізбегіне енгізілген кедергісінің  $R_f$  төмендеуіне әкеледі.

$R_f$  кедергісінің төмендеуі өлшеу көпірінің тұрақсыздығына және нәтижесінде оның шығыстарында сигналдың пайда болуына әкеледі. Сол сияқты басқа фоторезисторларға да қатысты. Өлшеу көпірлерінің тұрақсыздық сигналдарын салыстыру келесі өрнек арқылы орындалады:

$$U_{\Delta}(f1f2) = U(f1) - U(f2),$$

мұндағы,  $U(f1)$  – жұптағы бірінші өлшеу көпірінен сигнал;

$U(f2)$  – жұптағы екінші өлшеу көпірінен сигнал;

$U_{\Delta}(f1f2)$  – салыстыру нәтижесі (сигналдар айырмашылығы).

Тұрақсыздық сигналы күн бетінің жазықтығының күн сәулелеріне қатысты көлбеу бұрышын түзетуге мүмкіндік береді. Түзету тұрақсыздық сигналының белгісі мен шамасы туралы ақпарат негізінде жүзеге асырылады. [3]

Осылайша, оң  $U_{\Delta}(f1f2)$  мәнін алу кезінде күн панелінің  $R_{f1.1}$  жағына  $U_{\Delta}$  мәніне пропорционалды бұрышқа бұрылуы ( $f1f2$ ), ал теріс  $U_{\Delta}(f1f2)$  мәнімен  $R_{f1.2}$  жағына бұрылады. Егер (1) үшін  $U_{\Delta}(f1f2) =$

0 салыстыру нәтижесінде бұл экстремалды фоторезисторлардың бірдей жарықтандырылуын көрсетеді, яғни күн панелінің жазықтығы күн сәулелеріне ортогональды болып табылады, бұл электр станциясының максималды тиімділігін қамтамасыз етеді.

### **Нәтижелер және талқылау**

Күн панельдерінің өнімділігін арттыруға арналған күн трекері. Күн электр станцияларына арналған трекерлер.

Күн панельдерінің өндірісін ұлғайтудың бір әдісі – күн модульдерінің максималды тиімділігін қамтамасыз ету үшін күннің орналасуын қадағалайтын мамандандырылған құрылымдардың құрылысы–күн трекерлері.

Мұндай жүйелердің жұмыс ерекшеліктері, түрлері, құрылыс ерекшеліктері туралы мақалада қарастырамыз.

1 Триггер қондырғыларының жұмысының жалпы принциптері

2 Күн трекерлерінің дизайн түрлері

3 Трекер қондырғысының құрылымы

4 Күн электр станциялары үшін динамикалық жүйелердің артықшылықтары

### **Триггер қондырғыларының жұмысының жалпы принциптері**

Күн электр станциясының тиімділігі (өнімділігі) неге байланысты? Әрине, көп немесе аз маңызды факторлардың көпшілігі, бірақ олардың негізгісі күн панелінің Күнге қатысты бағыты болып табылады. [4]

Айқын факт: күндізгі күн сәулесінде салынған күн батареясы күн сәулелері оның бетіне перпендикуляр түскен кезде түсте энергияның максималды мөлшерін шығарады. Ал басқа уақытта не болады?

Күннің күнделікті траекториясының ерекшеліктерін ескере отырып, панельдердің тиімді айналу бұрышы шамамен  $150^\circ$  деп айтуға болады. Ис-шара нүктелері мен шығыс арасындағы дәл ортасында бекітілген Панель таңертең және кешке мүмкін болатын максималды өндірістің  $75\%$  – ын жоғалтады. Нәтижесінде, егер панельге сәулелердің түсу бұрышы аз болса, онда өндірілген энергия мөлшері күрт азаяды.

Күн станциясының географиялық орналасу координаттарын да ескеру қажет, өйткені елдің солтүстігі үшін оңтайлы орналасу бұрышы оңтүстік және шығыс аймақтардан өзгеше болады. Бұл ретте әрбір иесі өзінің күн электр станциясының күні бойы, сондай-ақ жыл жобасындағы ең жоғары мерзім ішінде бірдей жоғары энергия өндіруін қалайды.

Мұндай параметрлерге трекердің көмегімен қол жеткізуге болады, ол арнайы датчиктерден алынған ақпараттың көмегімен күн батареясының оңтайлы орнын анықтайды және платформаны қажетті бағытта және тиісті бұрышта бұрады.

### **Күн трекерлерінің дизайн түрлері.**

Күн панелінің трекерлері бірнеше түрді пайдаланады, бағытты таңдауда әртүрлі алгоритмдерді басшылыққа алады және әртүрлі жетек механизмдеріне ие.

Динамикалық бақылау жүйелерінің екі негізгі түрі бар – бір осьті және екі осьті.

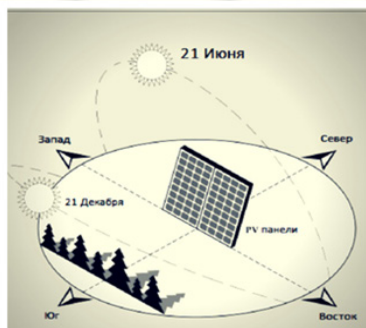
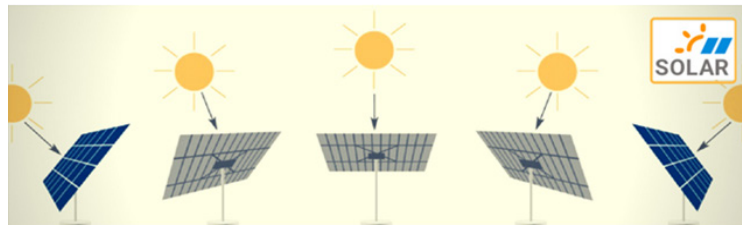
– бір осьті–күні бойы трекер көлденең жазықтықтағы бұрышты автоматты түрде өзгерте алады. Күн станциясы «Шығыс–Батыс» траекториясы бойынша қозғалады және статикалық жүйемен салыстырғанда өнімділігін  $15\%$  – дан  $20\%$  – ға дейін арттыра алады:

– екі осьті – трекер көлденең және тік жазықтықта қозғалады, яғни максималды энергия тиімділігі үшін күнге тәуелді орналасады. Статикалық жүйеден айырмашылығы, ол жыл бойына өнімділікті  $35\text{--}50\%$  – ға арттыра алады.

$5\times 8$  схема бойынша көлденең орналасқан 40 ФЕМ орнатуға арналған фотоэлектрлік модульдерді динамикалық бекіту жүйесі жартылай кілт–5400 Еуро.

### **Трекер қондырғысының құрылымы:**

– Іргетас. Дайындық кезеңінде тереңдігі 2 м, ені 2 м, ұзындығы 2 м шұңқыр қазылды. Жоғарғы бөлігіндегі армокаркасқа тіреу бағанының монтаждау алаңын байланыстыру жүзеге асырылды. Болашақ Күштік және сигналдық кабельдерді тарту үшін мекемелердің құбырлары төселген. Бетон жұмыстары жүргізілді (М300 маркалы бетон пайдаланылды).



Сурет 2 – Күн батареяларының өнімділігінің табиғи факторларға, жыл мезгіліне және күн белсенділігіне тәуелділігі

– Тірек құрылымы. Негізгі тік тірек элементі ретінде диаметрі 400 мм қалың қабырғалы болат құбыр пайдаланылды. Жер учаскесінің рельефін ескере отырып (аумақ батыс бағытта шамамен 5 градусқа қисайған), тіреу бағанасының биіктігі іргетастан айналмалы механизмге дейін 2м/2,5 м/3м болды.

Биіктігі көрші құрылымдар мен объектілердің көлеңкесін азайту үшін таңдалды. Күн панельдеріне арналған бағыттаушы профильдер орналастырылған айналмалы жақтау профильді шаршы құбырдан жасалған. Жақтаудың барлық элементтері 25–30 жыл ішінде коррозиялық бұзылуды, соның ішінде электрохимиялық коррозияны толығымен жоятын ыстық мырыштау цехында өңделеді.

Күн фото модульдерін бекітуге арналған бағыттаушы профиль – мырышталған болаттан жасалған профиль.

– Айналмалы механизм. Техникалық тұрғыдан күн трекерінің ең қиын бөлігі. Екі бөлікпен тұрады: 1. Тізбекті беріліс арқылы көлденең жазықтықта құрылымды айналдыратын редукторы бар қозғалтқыш. [3] 2. Рычаг жүйесі арқылы жазықтықты тік жазықтықта басқаратын редукторы бар қозғалтқыш.



Сурет 3 – Күн трекерінің айналмалы механизмдері

– Басқару жүйесі кешенді күн сәулесінің сенсорынан, трекердің басқару блогынан, желдің жылдамдығын өлшейтін сенсордан (анемометр) тұрады. Жүйе шашыраңқы және сынған күн сәулесін ескере отырып, күн энергиясының максималды қуатының ең жақсы нүктесін табады.

Бұл нақты географиялық координаттар мен күнтізбелік деректерді ескереді. Сигнал сенсордан басқару блогына беріледі – содан кейін трекер ең қолайлы жағдайға айналады. Желдің күші белгіленген параметрлерден асып кететіні туралы ақпарат алынған жағдайда, жүйе трекерлерді көлденең күйде орналастырады.

Күн панельдері. Үш құрылымның әрқайсысында барлығы 20 күн фотомодульдары орнатылған. Күн батареясының өлшемдері ені 0,99 см, ұзындығы 1,64 см, қалыңдығы 35 мм. [1]

Күн электр станциялары үшін динамикалық жүйелердің артықшылықтары:

Электр энергиясын өндіру үшін күн энергиясын пайдалану кезінде статикалық энергиямен салыстырғанда ең тиімді

– Стационарлық құрылымдармен салыстырғанда электр энергиясын өндіруді 40 % – ға ұлғайтады,

– Ұзақ мерзімді перспективада пайданың айтарлықтай өсуі. Күн панельдерінің қызмет ету мерзімі аяқталғанға дейін күн трекеріне салынған қаражат үш рет өтеледі.

Тәжірибе ұзақ уақыт бойы күн панельдері үшін трекерлерді қолданудың керемет нәтижелерін көрсетті, бұл электр энергиясын өндірудің жылдық көлемінің максималды өсімі 30–35 % құрайды. Компаниялар өз клиенттеріне ұзақ қызмет ету мерзімі бар танымал брендтердің күн батареяларын бақылау автоматикасын ұсынады. Сонымен қатар, олар стационарлық және

жылжымалы құрылымдарда күн электр станцияларын салудың кешенді жобаларын ұсынады.

### Қорытындылар

Күн панелінің орналасуын түпкілікті түзетуді бақылау кері байланыстың артында орындалады. Жүйеде басқарушы құрылғының рөлін энкодер (Е) атқарады, ол сервомотордың пайдаланылған бұрышына байланысты импульстардың кодтық тізбегін жасайды.

Нақты уақытта генерацияның тиімділігін арттыру үшін күн батареяларының оңтайлы айналу бұрышын табу алгоритмін оңтайландыру әрі қарайғы зерттеулердің бағыттары болып табылады.

Әзірленген жүйе нақты уақыт режимінде күн панельдерінің орналасуын автоматтандырылған басқару арқылы электр станциясының өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді. [5]

Ұсынылған күн трекерін басқару жүйесі күн электр станцияларын пайдаланудың максималды тиімділігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Глиberman, А. Я., Зайцева А. К.** Кремниевые солнечные батареи – Москва – Л. : Госэнергоиздат, 2014. – 72 с.

2 **Раушенбах, Г.** Справочник по проектированию солнечных батарей – М. : Энергоатомиздат, 2010. – 360 с.

3 **Безруких, П. П.** Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России – СПб. : Наука, 2012. С. 19 – 50 с.

4 **Твайделл, Дж., Уэйр А.** Возобновляемые источники энергии: научное издание; пер. с англ. В. А. Коробков – Энергоатомиздат, 2014. – 392 с.

5 **Харченко, Н. В.** Индивидуальные солнечные установки – М. : Энергоатомиздат, 2015. С. 126 – 128 с.

6 **Павлов, Н.** Солнечная энергия – энергия будущего // Электроника : наука, технология, бизнес. 2013. № 1 (123). С. 130–137.

7 **Умаров, Г. Я., Ершов, А. А.** Солнечная энергетика – М. : Знание, 1974. – 64 с.

8 **Кашкаров, А. П.** Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции – М. : ДМК Пресс, 2011. – 144 с.

9 **Удалов, С. Н.** Возобновляемые источники энергии – Новосибирск : Изд-во НГТУ 2014. – 459 с

10 **Быстрицкий, Г. Ф.** Основы энергетика : учебник – М. : ИНФРА–М, 2007. – 278 с.

### REFERENCES

1 **Gliberman, A. Ya., Zaitseva, A. K.** Kremnievy'e solnechny'e batarei [Silicon solar panels] – Moscow – L. : Gosenergoizdat, 2014. – 72 p.

2 **Rauschenbach, G.** Spravochnik po proektirovaniyu solnechny'h batarei [Handbook on the design of solar panels] – Moscow : Energoatomizdat, 2010. – 360 p.

3 **Bezrukikh, P. P.** Resursy' I e'ffe'ktivnost' ispol'zovaniya vozobnovlyaemy'h istochnikov e'nergii v Rossii [Resources and efficiency of using renewable energy sources in Russia] – St. Petersburg : Nauka, 2012. pp. 19 – 50 p.

4 **Twydell, J., Ware, A.** Vozobnovlyaemy'e istochniki e'nergii: nauchnoe izdanie; per. s angl. V. A. Korobkov [Renewable energy sources: scientific publication; trans. from the English V. A. Korobkov] – Energoatomizdat, 2014. – 392 p.

5 **Kharchenko, N. V.** Individual'ny'e solnechny'e ustanovki [Individual solar installations] – Moscow : Energoatomizdat, 2015. P. 126 – 128 p.

6 **Pavlov, N.** Solnechnaya e'nergiya – e'nergiya budushogo [Solar energy – the energy of the future] // Electronics : science, technology, business. 2013.No. 1(123). pp. 130–137.

7 **Umarov, G. Ya., Ershov, A. A.** Solnechnaya e'nergetika [Solar power engineering] – Moscow : Znanie, 1974. – 64 p.

8 **Kashkarov, A. P.** Vetrogeneratory', solnechny'e batarei i drugie polezny'e konstrukcii [Wind generators, solar panels and other useful structures] – Moscow : DMK Press, 2011. – 144 p.

9 **Udalov, S. N.** Vozobnovlyamy'e istochniki e'nergii [Renewable energy sources] – Novosibirsk : Publishing House of NSTU 2014. – 459 p

10 **Bystritsky, G. F.** Osnovy' e'nergetiki: uchebnik [Fundamentals of energy: textbook] – Moscow : INFRA–M, 2007. – 278 p.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

\*С. Н. Нахан<sup>1</sup>, А. С. Расмухаметова<sup>2</sup>, А. Е. Карманов<sup>3</sup>, А. З. Абжекеева<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>АУЭС имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

<sup>3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

### АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ КАК ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ



*В виду того, что расположение Солнца на небе непостоянно, а КПД солнечных панелей напрямую зависит от траекторий солнечных лучей, возникает потребность изучить методы повышения эффективности использования и эксплуатации солнечных электростанций. В данной статье рассмотрен метод контроля положения Солнца при помощи корректировки расположения плоскости солнечных панелей, а также представлена схема системы управлением положением солнечных панелей. Нами изучены общие принципы работы трекерных установок, подробно освещены типы конструкций, строение трекерной установки, преимущества динамических систем для солнечных электростанций. Как средство позволяющее максимально использовать солнечные батареи изучено эффективное использование солнечных трекеров. Осуществлен анализ общих принципов работы триггерных устройств, также в материале рассматриваются преимущества динамических систем для солнечных электростанций.*

*На основании полученных данных было выявлено, что разработанная, в данной статье, система позволяет повысить и улучшить производительность электростанции за счет автоматизированного управления, контроля положением солнечных панелей в режиме реального времени. В дополнение к вышесказанному, предложенная система управления солнечным трекером позволяет нам достичь максимальной эффективности использования солнечных электростанций.*

*Ключевые слова: солнечные панели, трекер, триггерные установки, фоторезистор, вращающийся механизм.*

*\*S. N. Nahan<sup>1</sup>, A. S. Rasmukhametova<sup>2</sup>, A.E. Karmanov<sup>3</sup>,  
A.Z. Abzhekeyeva<sup>4</sup>*

<sup>1,2</sup>AUPET named after G.Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.12.22

## **AUTOMATION OF POSITION CONTROL OF SOLAR PANELS AS A WAY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SOLAR POWER PLANTS**

*Since the location of the Sun in the sky is unstable, and the efficiency of solar panels directly depends on the trajectories of the sun's rays, there is a need to study methods to improve the efficiency of the use and operation of solar power plants. This article discusses a method for controlling the*

*position of the Sun by adjusting the location of the plane of solar panels, and also presents a diagram of the solar panel position control system. We have studied the general principles of operation of tracker installations, covered in detail the types of structures, the structure of the tracker installation, the advantages of dynamic systems for solar power plants. As a means to maximize the use of solar panels, the effective use of solar trackers has been studied. The analysis of the general principles of operation of trigger devices is carried out, and the advantages of dynamic systems for solar power plants are also considered in the material.*

*Based on the data obtained, it was revealed that the system developed in this article makes it possible to increase and improve the performance of the power plant through automated control, monitoring the position of solar panels in real time. In addition to the above, the proposed solar tracker management system allows us to achieve maximum efficiency of using solar power plants.*

*Keywords: solar panels, tracker, trigger installations, photoresistor, rotating mechanism.*

[doi.org/10.48081/EFYC8729](https://doi.org/10.48081/EFYC8729)

**\*А. С. Никифоров<sup>1</sup>, А. К. Кинжибекова<sup>2</sup>, Ш. М. Нуркина<sup>3</sup>,  
Ю. В. Брусенко<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОУГОЛЬНОГО БРИКЕТА ИЗ ЛИСТЬЕВ И УГЛЯ**

*Применение биомассы как источника получения тепловой энергии является одним из перспективных и развивающихся направлений. Добавление к биомассе отходов угольной промышленности в виде пыли и мелочи позволит получить брикет с улучшенными физическими и термическими характеристиками, отличающийся высокой прочностью и теплотой сгорания.*

*В статье представлен способ изготовления и получения биоугольного брикета, а также методы, используемые для определения его основных теплотехнических характеристик.*

*В ходе проведения исследования был получен биоугольный брикет, для изготовления которого в качестве сырья использовали сухие опавшие листья и угольную пыль Экибастузского месторождения. Экспериментальным путем установлены основные теплотехнические характеристики брикета, а именно: влажность, зольность, выход летучих, плотность и прочность. Смесь из угольной пыли и сухих листьев позволяет получить высококалорийный брикет с теплотой сгорания 18,0 МДж/кг. Влажность и выход летучих находятся в допустимых пределах. Содержание в брикете сухих листьев, в качестве основного компонента, увеличивает его прочность и плотность. Полученный биоугольный брикет является экологически безвредным, отличается малой стоимостью и обладает хорошими теплотехническими характеристиками, поэтому использование его в качестве топлива является целесообразным.*

*Ключевые слова: топливные брикеты, органические отходы, промышленные отходы, брикетирование, альтернативные источники энергии.*

### **Введение**

В современном мире ежегодно возрастает потребление энергетических ресурсов, это обуславливается высокими темпами развития инфраструктуры и повышением количества мирового населения. Сжигание традиционных источников энергии сопровождается негативным воздействием на окружающую среду. Согласно сведениям «British Petroleum», выбросы диоксида углерода на территории Казахстана, за последние 70 лет, увеличились в три раза, воздействие которого пагубно влияет на изменение климата [1].

Изучение вопроса использования отходов биомассы, в качестве топливного сырья, широко практикуется в развивающихся странах. Биомасса – это источник энергии, полученный из органических веществ, таких как растительные материалы, древесина и сельскохозяйственные отходы.

На территории Казахстана ежегодно образуются тонны промышленных (700 млн. тонн) и сельскохозяйственных (около 13 млн. тонн, бобовые, зерновые и масличные культуры) отходов, которые не утилизируются должным образом и размещаются на полигонах [2], [3].

Использование биомассы, в качестве альтернативного источника энергии, имеет ряд преимуществ:

в первую очередь это – доступность;

малые выбросы диоксида углерода, выделяется ровно столько, сколько растение поглотило в процессе своего роста, как следствие - снижение антропогенной нагрузки на климат;

количество содержащихся в составе биомассы элементов азота (от 0,3 до 1,2 %) и серы (от 0,02 до 0,2 %) разительно ниже, в сравнении с углем - азот от 0,6 до 2 %, сера от 0,3 до 1,8 % [4].

Биомассу в ее обычной форме трудно хранить, транспортировать, обрабатывать и эксплуатировать из-за следующих факторов: высокое содержание влаги, низкая насыпная плотность и различность размеров фракций. Данные трудности можно преодолеть, используя технологию брикетирования — это процесс уплотнения отходов в однородный твердый брикет.

Недавние исследования показали, что смешивание угля и биомассы позволит получить экологически чистый биоугольный брикет, обладающий высокими теплотехническими и физическими характеристиками [5]. Уголь и биомасса различны по элементному составу, уголь включает высокое содержание углерода и теплосодержание, но низкий выход летучих, биомасса же имеет высокое содержание летучих, но низкое содержание углерода [6].

Для исследования характеристик брикетов из различных растительных и промышленных отходов производилось множество экспериментов, например, были определены теплотехнические характеристики брикетов из: лузги риса,

кокоса и кофейных зерен [7], листьев ареки [8], смеси лузги арахиса и угля [5], сланцевой мелочи и древесных опилок [9], лузги подсолнечника [10].

### Материалы и методы

Для исследования характеристик биоугольного брикета, в данной экспериментальной работе, в качестве исходного сырья использовались опавшие листья и уголь из Экибастузского бассейна, в соотношении 60:40.

Способ изготовления брикета (рисунок 1) заключается в следующем: листья, предварительно высушенные от влаги и очищенные от крупных инородных включений, измельчают до размера фракций менее 3 мм. Измельченное сырье подвергается повторной очистке, с помощью сита, от песка. Далее, измельченные листья смешивают с угольной пылью и тщательно перемешиваются, масса смеси составляет 10 г. Полученную смесь формируют в цилиндрическом формовочном блоке и подвергают прессованию, на гидравлическом прессе, под давлением 25 МПа, соблюдая время выдержки 40 секунд.



Рисунок 1. Биоугольный брикет из листьев и угля Экибастузского месторождения

Содержание влаги в полученных брикетных образцах определялось в соответствии с [11], путем нагрева навески в сушильном шкафу, при температуре  $105 \pm 2$  °C в течение 60 минут. Перед экспериментом и по его окончанию необходимо произвести взвешивание навески. Вычисление массовой доли испарившейся влаги в процентах, определяется исходя из потери массы образца.

Зольность определялась в соответствии с [12] методом сжигания навески брикета в муфельной печи, при температуре 500 °C в течение 30 минут и прокаливании зольного остатка при температуре  $815 \pm 10$  °C. После окончания сжигания навесок топлива и прокалывания зольных остатков, тигли охлаждают и производят взвешивание, для определения массы образовавшейся золы.

Механическая прочность брикетов определялась в соответствии с [13]. Брикетные образцы помещают в специальный вращающийся барабан, где они соударяются и со стенками камеры. Вычисление прочности производят исходя из массы образца, оставшегося после истирания и отделения сломанных фракций.

Определение насыпной плотности производилось в соответствии с [14]. Следуя данной методике, в контейнер объемом от 5 до 50 литров, засыпают исследуемые образцы. Для уплотнения пробы, заполненный контейнер подвергается ударам, путем его падения с высоты 150 мм. После уплотнения, пустое пространство контейнера заполняется пробой и взвешивается. Вычисление величины насыпной плотности рассчитывается исходя из массы нетто и внутреннего объема контейнера.

Измерение содержания летучих веществ производилось согласно с методом [15]. Тигель с навеской исследуемого образца (заранее взвешенный), нагревали в муфельной при температуре  $900 \pm 10$  °C в течении 7 минут, без доступа воздуха. Исходя из массы, потерянной в ходе нагрева пробы, рассчитывается процент выхода летучих.

Определение теплоты сгорания производилось расчетным путем, на основе данных некоторых листьев (березы, тополя, клена) и угля Экибастузского месторождения. Теплота сгорания перечисленных листьев варьируется от 16046 до 20247 кДж/кг [16], а угля - 16945 кДж/кг. Количество листьев в общей их массе (100 %) принято одинаковым и составило 33,3% каждого вида. Итоговая теплота сгорания листьев 6 г – 11247 кДж/кг, угля в 4 г – 6778 кДж/кг.

### Результаты и обсуждение

В ходе исследования были определены основные теплотехнические характеристики: зольность, влагосодержание, прочность, плотность и выход летучих, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики биоугольных брикетов из листьев и угольной пыли в соотношении 60:40

Влажность, [%]	Зольность [%]	Выход летучих [%]	Плотность [%]	Прочность [%]	Теплота сгорания [кДж/кг]
8,00	14,0	17,0	1121,65	93,7	18025

Результаты исследований зольности угольных брикетов показали, что массовая доля золы в брикетах из листьев и угольной пыли составила 14 %, что превышает предельно допустимые значения европейским стандартом

[17], так как используемая угольная пыль Экибастузского месторождения содержит около 40 % золы.

Содержание влаги в полученных брикетах составило 8 %, данный результат входит в допустимые пределы стандарта качества [17].

Выход летучих веществ биоугольных брикетов составил 17 %. Для сравнения, выход летучих у брикетов из лузги арахиса и угля в соотношении 60:40 составляет 34,8 % [5], с лузгой риса в пределах 22 % [7], каменного угля лежит в пределах от 10 % до 50 %.

Результаты исследования для определения механической прочности биоугольных брикетов показали, что полученный образец обладает достаточно высокой степенью прочности 93,7 % и плотности 1121,65 % что соответствует европейскому стандарту [18] и гарантирует целостность при транспортировке и хранении брикетов.

Теплота сгорания исследуемого биоугольного брикета составила 18025 кДж/кг. Полученный результат превышает теплотворную способность Экибастузского угля (16945 кДж/кг) и соответствует стандарту.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №АР14869152).

#### Выводы

Отходы из сухих листьев имеют значительный потенциал для использования в качестве сырья биоугольных брикетов;

Смесь из угольной пыли и сухих листьев позволяет получить высококалорийный брикет с теплотой сгорания 18,0 МДж/кг. Влажность и выход летучих находятся в допустимых пределах;

Содержание в брикете сухих листьев, в качестве основного компонента, увеличивает его прочность и плотность;

Полученный биоугольный брикет является экологически безвредным, отличается малой стоимостью и обладает хорошими теплотехническими характеристиками, поэтому использование его в качестве топлива является целесообразным.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Выбросы диоксида углерода в Казахстане по видам топлива [Электронный ресурс]. – <https://ourworldindata.org>.

2 **Бимендина, Г. А., Баймаганбетов, Б. У., Узбаев, М. Б., Мендыбаев, М. Ж.** Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2019 год [Текст]. – Нур-Султан, 2020. – 254 с.

3 Статистика сельского, лесного, охотничьего и рыбного хозяйства Республики Казахстан. [Электронный ресурс]. – <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6>.

4 Характеристики биомассы [Электронный ресурс]. – <http://www.gigavat.com>.

5 **Ikelle, I., Nworu, J., Sundaya, Nworie, F., Sundayb, Jedidiah, J.** Thermal Analyses of Briquette Fuels Produced from Coal Dust and Groundnut Husk // Acta Chemica Malaysia, 2020. – № 1(4). – P. 27.

6 **Jamilatun, S.** Character of Ignition and Burning of Burning of Biomass Briquettes and wood Charcoal // J. Rekayasa Proses, 2008. – P. 40.

7 **Nurhilal, O., Yuliah, Y., Mulyana, C.** Combustion quality analysis of briquettes from variety of agricultural waste as source of alternative fuels // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2017. – № 65. – P. 6.

8 **Deepak, K. B., Manujesh, B. J., Vivek, S., Yashas, B. K.** Biomass: Turning Agricultural Waste to Green Power // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2018. – № 376. – P. 10.

9 **Назаренко, М. Ю., Кондрашева, Н. К., Салтыкова, С. Н., Бажин, В. Ю.** Физические характеристики брикетов, полученных из сланцевой мелочи и древесных опилок [Текст] // Известия ТПУ. – 2016. – № 3. – С. 67–74.

10 **Тунцев, Д. В., Харьков, В. В., Кузнецов, М. Г.** Переработка лузги подсолнечника в угольные брикеты высокой прочности [Текст] // Вестник Казанского ГАУ. – 2019. – № 4(56). – С. 86–90.

11 ГОСТ Р 54186–2010. Биотопливо твёрдое. Определение содержания влаги высушиванием [Текст]. – М., 2010. – 8 с.

12 ГОСТ Р 54185–2010. Биотопливо твёрдое. Определение зольности [Текст]. – М., 2010. – 8 с.

13 ГОСТ Р 55111–2012. Биотопливо твёрдое. Определение механической прочности пеллет и брикетов [Текст]. – М., 2014. – 5 с.

14 ГОСТ 32987–2014. Биотопливо твёрдое. Определение насыпной плотности [Текст]. – М., 2015. – 12 с.

15 ГОСТ 32990–2014. Биотопливо твёрдое. Определение выхода летучих веществ [Текст]. – М., 2013. – 15 с.

16 **Pnakovic, L., Dzurenda, L.** Combustion Characteristics of Fallen Fall Leaves from Ornamental Trees in City and Forest Parks // BioResources, 2015. – № 10. – P. 5563–5572.

17 Европейский стандарт качества брикетов [Электронный ресурс]. – <http://biotoprk.ru>.

1 Vybrosy dioksida ugleroda v Kazahstane po vidam topliva [Carbon dioxide emissions in Kazakhstan by fuel type] [Electronic resource]. – <https://ourworldindata.org>.

2 **Bimendina, G. A., Baimaganbetov, B. U., Uzbaev, M. B., Mendybaev, M. Zh.** Svodnyj analiticheskij otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki Kazahstan za 2019 god [Consolidated analytical report on the state and use of lands of the Republic of Kazakhstan for 2019] [Text]. – Nur-Sultan, 2020. – 254 p.

3 Statistika sel'skogo, lesnogo, ohotnich'ego i rybnogo hozyajstva Respubliki Kazahstan [Statistics of agriculture, forestry, hunting and fisheries of the Republic of Kazakhstan]. [Electronic resource]. – <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/6>.

4 Harakteristiki biomassy [Biomass Characteristics] [Electronic resource]. – <http://www.gigavat.com>.

5 **Ikelle, I., Nworu, J., Sundaya, Nworie, F., Sundayb, Jedidiah, J.** Thermal Analyses of Briquette Fuels Produced from Coal Dust and Groundnut Husk // Acta Chemica Malaysia, 2020. – № 1(4). – P. 27.

6 **Jamilatun, S.** Character of Ignition and Burning of Biomass Briquettes and wood Charcoal // J. Rekeyasa Proses, 2008. – P. 40.

7 **Nurhilal, O., Yuliah, Y., Mulyana, C.** Combustion quality analysis of briquettes from variety of agricultural waste as source of alternative fuels // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2017. – № 65. – P. 6.

8 **Deepak, K. B., Manujesh, B. J., Vivek, S., Yashas, B. K.** Biomass: Turning Agricultural Waste to Green Power // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2018. – № 376. – P. 10.

9 **Nazarenko, M. Yu., Kondrasheva, N. K., Saltykova, S. N., Bazhin, V. Yu.** Fizicheskie harakteristiki briketov, poluchennyh iz slancevoj melochi i drevesnyh opilok [Physical characteristics of briquettes obtained from shale fines and sawdust] [Text] // Izvestiya TPU. – 2016. – № 3. – P. 67–74.

10 **Tuncev, D. V., Kharkov, V. V., Kuznetsov, M. G.** Pererabotka luzgi podsolnechnika v ugol'nye briketi vysokoj prochnosti [Processing sunflower husks into high-strength coal briquettes] [Text] // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2019. – № 4(56). – P. 86–90.

11 GOST R 54186–2010. Bioplyivo tvyordoe. Opredelenie sodержaniya vlagi vysushivaniem [Biofuels are solid. Determination of moisture content by drying] [Text]. – Moscow, 2010. – 8 p.

12 GOST R 54185–2010. Bioplyivo tvyordoe. Opredelenie zol'nosti [Biofuels are solid. Determination of ash content] [Text]. – Moscow, 2010. – 8 p.

13 GOST R 55111–2012. Bioplyivo tvyordoe. Opredelenie mekhanicheskoy prochnosti pellet i briketov [Biofuels are solid. Determination of the mechanical strength of pellets and briquettes] [Text]. – Moscow, 2014. – 5 p.

14 GOST 32987–2014. Bioplyivo tvyordoe. Opredelenie nasypnoj plotnosti [Biofuels are solid. Determination of bulk density] [Text]. – Moscow, 2015. – 12 p.

15 GOST 32990–2014. Bioplyivo tvyordoe. Opredelenie vyhoda letuchih veshchestv [Biofuels are solid. Determination of the yield of volatile substances] [Text]. – Moscow, 2013. – 15 p.

16 **Pnakovic, L., Dzurenda, L.** Combustion Characteristics of Fallen Fall Leaves from Ornamental Trees in City and Forest Parks // BioResources, 2015. – № 10. – P. 5563–5572.

17 Evropejskij standart kachestva briketov [European quality standards for briquettes] [Electronic resource]. – <http://biotoprk.ru>.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\**А. С. Никуфоров<sup>1</sup>, А. К. Кинжибекова<sup>2</sup>, Ш. М. Нуркина<sup>3</sup>, Ю. В. Брусенко<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## ЖАПЫРАҚТАР МЕН КӨМІРДЕН БИО КӨМІР БРИКЕТІНІҢ ЖЫЛУ ТЕХНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

*Биомассаны жылу энергиясының көзі ретінде пайдалану келешегі зор және дамушы бағыттардың бірі болып табылады. Көмір өнеркәсібінің қалдықтарын шаң және ұсақ бөлшектер түріндегі биомассаға қосу жоғары беріктігімен және жылулық құндылығымен сипатталатын жақсартылған физикалық және жылулық сипаттамалары бар брикет алуға мүмкіндік береді.*

*Мақалада биокөмір брикетін өндіру және алу әдісі, сонымен қатар оның негізгі термиялық сипаттамаларын анықтау үшін қолданылатын әдістер келтірілген.*

*Зерттеу барысында биокөмір брикеті алынды, оны өндіру үшін шикізат ретінде Екібастұз кен орнының құрғақ құлаған жапырақтары мен көмір шаңы пайдаланылды. Брикеттің негізгі жылулық сипаттамалары эксперименталды түрде анықталды, атап айтқанда: ылғалдылық, күлділік, ұшта өнімділік, тығыздық және беріктік. Көмір шаңы мен құрғақ жапырақтардың қоспасы*

*18,0 МДж/кг калориялық жоғары калориялы брикет алуға мүмкіндік береді. Ылғалдылық және ұшына шығыс рұқсат етілген шектерде. Брикеттегі құрғақ жапырақтардың мазмұны, негізгі компонент ретінде, оның беріктігі мен тығыздығын арттырады. Алынған биокөмір брикет экологиялық таза, құны төмен және жақсы термиялық өнімділікке ие, сондықтан оны отын ретінде пайдалану орынды.*

*Кілтті сөздер: жанармай брикеттері, органикалық қалдықтар, өнеркәсіптік қалдықтар, брикеттеу, баламалы энергия көздері.*

\*A. S. Nikiforov<sup>1</sup>, A. K. Kinzhibekova<sup>2</sup>, Sh. M. Nurkina<sup>3</sup>, Y. V. Brussenko<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.12.22

## **STUDY OF HEAT TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A BIOCOAL BRIQUETTE FROM LEAVES AND COAL**

*The use of biomass as a source of thermal energy is one of the promising and developing areas. The addition of coal industry waste in the form of dust and fines to the biomass will make it possible to obtain a briquette with improved physical and thermal characteristics, characterized by high strength and calorific value.*

*The article presents a method for manufacturing and obtaining a bio-coal briquette, as well as methods used to determine its main thermal characteristics.*

*In the course of the study, a bio-coal briquette was obtained, for the manufacture of which dry fallen leaves and coal dust of the Ekibastuz deposit were used as raw materials. The main thermal characteristics of the briquette were experimentally established, namely: humidity, ash content, volatile output, density and strength. A mixture of coal dust and dry leaves makes it possible to obtain a high-calorie briquette with a calorific value of 18.0 MJ/kg. Humidity and volatile output are within acceptable limits. The content of dry leaves in the briquette, as the main component, increases its strength and density. The resulting bio-coal briquette is environmentally friendly, low cost and has good thermal performance, so its use as a fuel is appropriate.*

*Keywords: fuel briquettes, organic waste, industrial waste, briquetting, alternative energy sources.*

SRSTI 44.29.31

[doi.org/10.48081/MHWT5726](https://doi.org/10.48081/MHWT5726)

**\*A. I. Ogarkova<sup>1</sup>, V. P. Markovskiy<sup>2</sup>, K. V. Tatmyshevskiy<sup>3</sup>,  
A. B. Utegulov<sup>4</sup>, I. V. Koshkin<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>A. Baitursynov Kostanay Regional University,  
Republic of Kazakhstan, Kostanay,

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

<sup>3</sup>Vladimir State University A. G. and N. G. Stoletov,  
Russian Federation, Vladimir,

<sup>4</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,  
Republic of Kazakhstan, Astana,

<sup>5</sup>Kostanay Regional University named after A. Baitursynov,  
Republic of Kazakhstan, Kostanay.

## **DEVELOPMENT OF A TWO-WAY METHOD FOR MEASURING THE DISTANCE TO A DEFECT IN A CABLE TRANSMISSION LINE OF A 6 (10) KV NETWORK USING THE METHOD OF PULSE REFLECTOMETRY**

*This scientific article examines the measurement method for determining the location of damage in a 6(10) kV cable line in a network with an isolated neutral. The method involves the use of location devices when measuring distances to the site of defecation in cable networks from two sides. This is necessary to identify complex types of short circuits and more accurately determine the distance to the accident site. The results of theoretical studies have been confirmed by experiments conducted using the R5–13/1 inhomogeneity meter together with the tracer measuring receiver–IP–8. In addition to the main experiments to determine the location of complex damage, experiments were conducted to study the parameters of the pulse measurement method. The influence of the instrumental characteristic of the shortening factor on the accuracy in determining the distance to the damage site is studied.*

*The method of two-way measurements of finding the distance to the place of damage in cable networks with a voltage of 6 (10) kV can be used to increase the continuity and reliability of power supply systems, as well as increase the level of electrical safety during their operation.*

*Keywords: cable break, reflectometry, non-uniformity meter, electric grid, isolated neutral, grounding, damage location, simulation, isolation, reliability, power quality, emergency mode.*

### Introduction

Cable transmission lines are an important part of energy systems. Uninterrupted and high-quality delivery of electricity to consumers depends on their proper operation [1].

As a result of a review of the literature, it was revealed that methods for detecting the simplest damages are described everywhere, but there is no accurate and complete description of the algorithm for determining complex defects in cable lines [1–3, 5].

Damage to electrical networks can be distinguished by the place of occurrence. Thus, defects occur not only in the parts conducting current, but also in insulation, on overhead power lines, and in cable ones.

The causes of cable malfunctions are generally divided into several groups, which include flaws caused by design errors, factory defects, as well as cable laying defects [1, 2].

As a result of the conducted research and analysis of emergency situations in the electrical networks of the city of Kostanay and the region, it was revealed that in cable lines one third of the damages are associated with end and coupling couplings, as well as accidents caused by design errors, factory defects and cable laying defects. When analyzing statistical data [1], it was revealed that such damages in cables as single-phase earth faults occupy 65 % of all types of accidents, followed by two-phase and double earth faults – about 20 %, two-phase short circuits without earth – no more than 10 %, and three-phase short circuits – no more than 5 %. The purpose of the study is to study modern methods for determining the location of damage and to develop a new method based on them to improve the efficiency of determining the location of damage in cable transmission lines.

### Materials and methods

The research was carried out by the device P5–13/1, with the help of which it is possible to identify: breakage (distance to breakage), distance to leakage (underestimation of insulation resistance), distance to short circuit in the cable line, and more. The distance measurement range is from 1 meter to 10 km, which is a good value compared to analogues of the R5 series. The maximum resolution of the device is high and is 0.4. The duration of the video pulse is 0.05–5 microseconds, and the value of the adjustable input resistance  $R_{vx} = 200\text{--}300$  Ohms. The R5–13/1 device consists of a basic unit, which is made in the form of a complete basic device, a generator and a power supply. Additional blocks significantly expand the functional and operational capabilities of the device [6].

Although the analog device R5–13/1 is inferior to more modern digital devices in some parameters, including dimensions, its technological capabilities make it possible to effectively determine them and the nature of the damage to power cables and communication cables.

When conducting scientific research, the location method of pulse reflectometry was used, in which the line is probed by an electric pulse and the instant of probing the pulse time is recorded, reflected from the defective place when returning to the base of the line. It measures the time between these two moments. The path of movement of all impulses in the damaged line and time proportions are indicated on the reflectograms, where the obtained time  $t_{\pi}$  is the time of the double run of the impulse to the damage site [1,2–6].

### Results and discussion

There are known methods for detecting simple damages, such as a clean break or a clean short circuit, based on one-sided measurements. However, it is difficult to identify complex cable damage, which is why the method of two-way measurements using pulse reflectometry is proposed [1,4, 6–10].

When carrying out one-sided measurements, the estimated distance to the damaged place is calculated according to the formula [1]

$$L = L_X \pm \Delta, \quad (1)$$

где  $L$  – estimated distance to the damaged area, m;

$L_X$  – measured distance to the damaged area, m;

$$\Delta_p = (L_k \cdot \delta) \cdot \frac{1}{100} \text{ – error allowed during measurements;}$$

$L_k$  – the measuring range set manually on the device, m;

$\delta$  – the error of the reflectometer, for R5–13/1  $\delta = 1.0$  % of the selected measurement range.

When conducting two-way measurements, the ends of the cable are designated as «A» and «B», and due to the formation of two pulses, the distance is determined by the expression:

$$L_A = \frac{1}{2} \cdot [L_X^A + (L_L - L_X^B)], \quad (2)$$

где  $L_A$  – the value of the distance to the location of the damage in the cable from side A, which is most likely, m;

$L_L$  – cable length, m;

$L_X^A$  – the distance to the damaged area from side «A», which is measured, m;

$L_X^B$  – the distance to the damaged area from side «B0», which is measured, m.

The resulting error determination of a defective place in the cable transmission line from side «A» can be calculated by the formula [10]:

$$\Delta_A = L_A - (L_A + \Delta_A) = \frac{1}{2} \cdot [(L_X^A + \Delta_p) + (L_L - L_X^B + \Delta_p)] - \frac{1}{2} [L_X^A + (L_L - L_X^B)] = \frac{1}{2} \cdot [\Delta_p + \Delta_p] = \Delta_p, \quad (3)$$

The expected damage to the cable will be at a distance of  $L_A \pm \Delta_A$  from the end of «A».

Based on the results of the instrument measurements and calculations, the exact distance to the damage is determined, and the nature of the damage is determined by the received reflectogram. The method takes longer than a one-way measurement, but is more accurate for various types of damage. The determination of the nature and location of complex damages during bilateral measurements is carried out in the following sequence:

1 Form the initial data. The length of the line is known, the designation of the ends «A» and «B» is made, as shown in Figure 1.



Figure 1 – Designation of the ends of the line

2 The ends of the cable that are needed to connect the device to the line are connected to the sockets of the line from the «A» side.

The setpoint of the probing pulse is set to 0.3 (if the distance to the defect is small, the duration of the probing pulse can also be selected small, fixing the distance to the damaged place will be even more accurate from this).

On the received impulse response, you need to find a spike that indicates the pulse reflected from the line defect. To recognize the nature of the damage by the reflectogram according to the standard reflectograms in the device passport. The leading edge of the probing pulse must be combined using the reference setpoint with the risk on the scale of the reference oscillogram.

By adjusting the handle of the device with the name «Distance», the leading edge of the pulse that was reflected from the damaged place should be combined with the risk on the scale of the reference oscillogram.

Considering the position of the «Ranges M» handle, it is necessary to calculate the distance to the defect on the «Distance» scale. After making the calculations, mark it with a point «C», as shown in Figure 2.



Figure 2 – Probing the line from the «A» side

3 Similarly, make a probe from the «B» side, and designate the resulting point of the defect location as «D» (Figure 3).



Figure 3 – Probing the line of the other end of the line of the side «B»

4 To determine the exact location of the cable damage, use formulas (2) and (3).

5 If, taking into account the error of the device, the values at point «C» and «D» coincide, and the reflectograms indicate the same type of damage, then there is a simple damage. Otherwise, the number of damages exceeds one, and it is required to continue measurements based on points «C» and «D».

6 Measurements should be continued until the measured total length of the line is equal to the real one.

To confirm the results of the proposed method, a number of experiments were carried out on the basis of the energy enterprise limited liability partnership «MRET» to carry out measurements by the pulse method, and to determine complex damages by means of the P5–13/1 device.

For the experiment, 3 pieces of communication cable were taken AABL 3x50–10 with a length of 72, 70 and 6 meters. Cable AABL it is a power cable in an aluminum shell, armored, with paper impregnated insulation. Section of aluminum cores – 50 MM<sup>2</sup>.

For the convenience of the experiment, the cables were numbered, where the first was 72 m long, the second was 75 m, the third was 6 m, while the total length of the simulated line was 148 meters.

In experiment No. 1, the cores of the first pairs of the second and third cables were connected, the cores of the first were not. Thus, an imitation of a complete break in the line was carried out.

As described earlier, the ends of the line are designated as «A» and «B».

Carrying out measurements:



1. Probing from side A gave the following result – a break at a distance of 75 m. (Figure 4a).

2. Probing from the «B» side gave the following result – a break at a distance of 78 m. (Figure 4b).

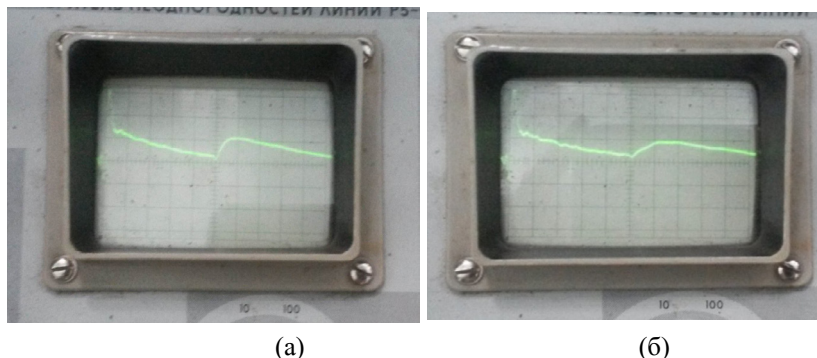


Figure 4 – The reflectogram of the break in the line when probing from the side «A»(a) and from the side «B» (b) during the first experiment

3. Since the measured total length of the line is equal to 153 m., and the real one, as is known, is equal to 148 m., it is necessary to calculate the estimated real place of damage using formula 2.

$$L_A = \frac{1}{2} \cdot [L_X^A + (L_L - L_X^B)] = \frac{1}{2} \cdot [75 + (148 - 78)] = 72,5 \text{ m}$$

The location of the damage in the cable route is calculated from the side of the end «A», which is most possible –  $L_A$ :

The location of the damage in the cable is calculated from the reverse side – the end «B», which is most possible –  $L_B$ :

$$L_B = \frac{1}{2} \cdot [L_X^B + (L_L - L_X^A)] = \frac{1}{2} \cdot [78 + (148 - 75)] = 75,5 \text{ m}.$$

Error  $\Delta_p$ , which could be allowed during measurements is determined by the formula (3). In this case,  $L_K = 300 \text{ m}$ .

$$\Delta_p = (L_K \cdot \delta) \cdot \frac{1}{100} = (300 \cdot 1) \cdot \frac{1}{100} = 3 \text{ m}.$$

The resulting error in calculating the damaged area from the side A –  $\Delta A$  can be found:

$$\Delta_A = \Delta_B = \Delta_p = 3 \text{ m}.$$

Thus, the expected damage to the cable, namely the breakage, will be at a distance of  $72.5 \pm 3 \text{ m}$ . from the end of «A», and at a distance of  $75.5 \pm 3 \text{ m}$ . from the end of «B».

The sum of the distances obtained coincides with the actual length of the cable. From which it should be concluded that there was a vein breakage in this line at the distance calculated using the device and formulas (Table 1).

In experiment № 2, the cores of the second pairs of the first and second cables were shorted, the second and third did not touch.

Thus, an imitation of a complex double fault in the line was carried out, namely a short circuit and an open circuit.

Table 1 – Conclusions from the first experiment

The probing process	Measured distance to damage, m.	Type of damage	Estimated distance to the defect, m.	Conclusion from the first experiment
From the beginning of «A»	75,0	breakage	72,5±3,0	Vein breakage at a distance of $72,5 \pm 3 \text{ m}$ . from the A side
From the end of «B»	78,0	breakage	75,5±3,0	

Carrying out measurements:

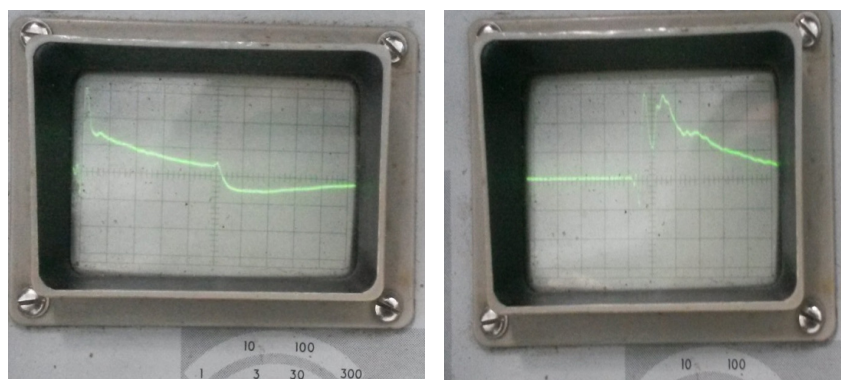
1. Probing from the «A» side gave the following result – a short circuit at a distance of 75 m (Figure 5a).

2. Probing from the «B» side gave the following result – a break at a distance of 6 m (Figure 5b).

3. Since the actual length is 148 meters, it is already clear from the received reflectograms and measured distances that there is a complex damage in the cable. Therefore, it is necessary to make further measurements.

The point «C» will indicate the place of a short circuit when probing from the «A» side, and the point «D» will indicate the place of a break when probing from the «B» side. Since it is known that  $\Delta_p = 3 \text{ m}$ , the short circuit location will be located at a distance of  $L_{AC} = 75 \pm 3 \text{ m}$ . from the «A» side, and the place of the breakage is at a distance  $L_{BD} = 6 \pm 3 \text{ m}$ .

Further on, there are damage sites and new soundings are made from there.



(a) (b)

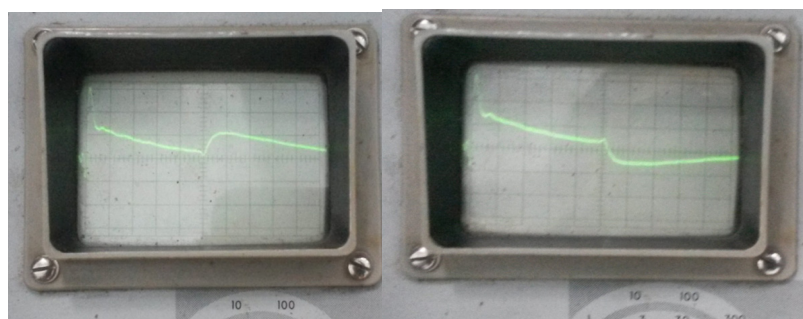
Figure 5 – Reflectogram of a short circuit in the line when probing from the side «A» (a) and the side «B» (b) in the second experiment

4. Probing the line at point «C» in the direction of «B» gave the following result – a break at a distance of 75 meters (Figure 6a).

5. Probing the line at point «D» in the direction of «A» gave the following result – a short circuit at a distance of 75 meters (Figure 6b).

6. Based on the latest measurements, it is obvious that when probing from point «C», damage was detected at point «D», and when probing from point «D», damage was detected at point «C».

The resulting measured length is  $L_{AB} = L_{AC} + L_{CD} + L_{DB} = 75 + 75 + 6 = 15m.$ , that taking into account the error of the device corresponds to the actual length of the simulated line.



(a) (b)

Figure 6 – Reflectogram of a short circuit in the line when probing from point «C» towards «B» (a) and from point «D» towards «A» (b) during the second experiment

From this we can conclude that there are 2 damages in the line: a short circuit and an open circuit, and the segment between these two damages is intact, which corresponds to reality. Table 2 shows the results of the second experiment.

Table 2 – Conclusions of the second experiment

The probing process	The measured distance to the brain injury.	Type of damage	Estimated calculated distance to damage, m.	Conclusion of the second experiment
From the beginning of «A»	75,0	Short circuit	72,5±3,0	There are at least two damages in the line
From the end of «B»	6,0	Breakage	6,0±3,0	
From point «C» towards the end of «B»	75,0	Breakage	75,0±3,0	The line segment between «C» and «D» has no damage. Therefore, there is double damage in the line
From point «D» towards the beginning of «A»	75,0	Short circuit	75,0±3,0	

### Conclusions

A two-way measurement method has been developed to determine the places of damage in cable networks with a voltage of 6(10) kV. An algorithm was developed to identify the location and nature of simple and complex damages in cables.

As a result of the study, experiments were carried out using the R5–13/1 inhomogeneity meter together with a tracer IP–8, as a backup device to confirm the effectiveness of the developed method. In addition to the main experiments to determine the location of complex damage, experiments were conducted to study the parameters of the pulse measurement method. The effect of the shortening coefficient on the accuracy of determining the distance to the damage site was investigated. The practical implementation of noise filtering when using the pulse reflectometry method was considered.

The developed method is suitable for pulse measurements with any reflectometers, and allows you to determine the distance to the damage site with sufficient accuracy and simplicity in a three-phase symmetrical network with an isolated neutral voltage of 6 (10) kV.

## REFERENCES

1 **SHabad, M. A.** Raschety relejnoj zashchity i avtomatiki raspredelitel'nyh setej [Calculations of relay protection and automation of distribution networks]: 44th ed., rev. and additional/ M. A. SHabad. – SPb.:PEIPK, 2010. – 350 p., ill.

2 **Bajburin, E. R.** Povyshenie nadezhnosti sel'skikh elektricheskikh setej 6(10) kV na osnove operativnogo opredeleniya mesta povrezhdeniya pri odnofaznyh замыканиyah na zemlyu po parametram perekhodnogo processa bez otklyucheniya potrebitel'ej [Improving the reliability of rural electrical networks 6 (10) kV based on the rapid determination of the location of damage in case of single-phase earth faults according to the parameters of the transient process without disconnecting consumers]: abstract dissertations candidate of technical sciences. 05.20.02, St. Petersburg State Agrarian University / BajburinEduard Ramilevich. – St. Petersburg, 2006. – 24 p.

3 Human errors monitoring in electrical transmission networks based on a partitioning algorithm. Gheorghe, Grigoras, Barbulescub Cecilia // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2013. – Volume 49. – Pages 128–136

4 **Zajdel', A.N.** Elementarnye ocenki oshibok izmerenij [Elementary estimates of measurement errors]: 3rd ed. correct and additional / A. N. Zejdel'. – St. Petersburg: Nauka, 2018. – 97 p.

5 A method for ground fault distance computation in unearthed distribution network. M. R. Adzman, M. Lehtonen // International Review on Modelling and Simulations. – 2012. – Vol. 5, № 4. – Pages 1765–1772

6 R5–13 (R5–13/1). Izmeritel' neodnorodnostej linij. Tekhnicheskoe opisaniye i instrukciya po ekspluatatsii. [P5–13 (P5–13/1). Line inhomogeneity meter. Technical description and operating instructions.] Priborelektro. [Electronic resource]: <https://www.priborelektro.ru/product/catalog/izmeriteli-parametrov-linii-19/675.html> (Date of access: 28.07.2022)

7 **Utegulov, B. B.** Razrabotka sposoba povysheniya effektivnosti ustrojstva zashchity ot toka utechki do 1000 V na ekskavatorah gornodobyvayushchih predpriyatij [Development of a method for increasing the efficiency of a protection device against leakage current up to 1000 V on excavators of mining enterprises] / B. B. Utegulov, A. B. Utegulov, A. B. Uahitova // Journal of Mining Sciences. – 2016. – 52(2). – P. 325–331

8 **Utegulov, B. B.** Sposob modelirovaniya dlya izmereniya sostoyaniya izolyatsii v seti s izolirovannoj nejtral'yu napryazheniem do 1000 V v shahtah s ispol'zovaniem Matlab/Simulink [Simulation method for measuring the state of insulation in a network with an isolated neutral voltage up to 1000 V in mines using Matlab/Simulink] / B. B. Utegulov, A. B. Utegulov, A. B. Uahitova // Journal of Mining Sciences. – 2017. – 53(2). – P. 282–290

9 **Utegulov, B. B., Govorun, V. F., Govorun, O. V.** Perekhodnye processy v elektroenergeticheskikh sistemah: Schoolbook [Transient processes in electric power systems] Edited by B. B. Utegulov. – Pavlodar: ECO, 2007. – 52 P. – ISBN 9965–08–222–7.

10 Modeling of a single-phase earth fault in determining the location of damage using linear algebra theory. A. I. Ogarkova, V. P. Markovskiy, K. V. Tatmyshevskiy, A. B. Utegulov, I. V. Koshkin // Scientific journal Vestnik Toraigyrov University. Energy series. No. 2. – Pavlodar, 2022. – P. 263–276

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Шабад, М. А.** Расчеты релейной защиты и автоматизации распределительных сетей [Текст]: 4-е изд., испр. и доп. / М. А. Шабад. – СПб.:ПЭИПК, 2010. – 350 с., ил.

2 **Байбури, Э. Р.** Повышение надежности сельских электрических сетей 6(10) кВ на основе оперативного определения места повреждения при однофазных замыканиях на землю по параметрам переходного процесса без отключения потребителей [Текст]: автореф. диссертации кандидат технических наук. 05.20.02, ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет». / БайбуриЭдуард Рамилевич. – Санкт-Петербург, 2006. – 24 с.

3 Gheorghe, Grigoras Human errors monitoring in electrical transmission networks based on a partitioning algorithm [Текст] / Grigoras Gheorghe, Barbulescub Cecilia // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2013. – Volume 49. – Pages 128–136

4 **Зайдель, А. Н.** Элементарные оценки ошибок измерений [Текст]: 3-е изд. испр. и доп. / А. Н. Зейдель. – Санкт Петербург: Наука, 2018. – 97 с.

5 **Adzman, M. R.** A method for ground fault distance computation in unearthed distribution network [Текст] / M. R. Adzman, M. Lehtonen // International Review on Modelling and Simulations. – 2012. – Vol. 5, №4. – Pages 1765–1772

6 P5–13 (P5–13/1). Измеритель неоднородностей линий. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. [Текст] Приборэлектро. [Электронный ресурс]: <https://www.priborelektro.ru/product/catalog/izmeriteli-parametrov-linii-19/675.html> (Дата обращения: 28.07.2022)

7 **Утегулов, Б. Б.** Разработка способа повышения эффективности устройства защиты от тока утечки до 1000 В на экскаваторах горнодобывающих предприятий [Текст] / Б. Б. Утегулов, А. Б. Утегулов, А. Б. Уахитова // Журнал горных наук. – 2016. – 52(2). – С. 325–331

8 **Утегулов, Б. Б.** Способ моделирования для измерения состояния изоляции в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В в шахтах

с использованием Matlab/Simulink [Текст] / Б. Б. Утегулов, А. Б. Утегулов, А. Б. Уахитова // Журнал горных наук. – 2017. – 53(2). – С. 282–290

**9 Утегулов, Б. Б., Говорун, В. Ф., Говорун, О. В.** Переходные процессы в электроэнергетических системах: Учебное пособие [Текст]. Под редакцией Б. Б. Утегулова. – Павлодар: ЭКО, 2007. – 52 с. – ISBN 9965–08–222–7.

**10 Ogarkova, A. I.** Modeling of a single-phase earth fault in determining the location of damage using linear algebra theory /A. I. Ogarkova, V. P. Markovskiy, K. V. Tatmyshevskiy, A. B. Utegulov, I. V. Koshkin // Научный журнал Вестник Торайғыров университета. Энергетическая серия. № 2. – Павлодар, 2022. – С. 263–276

Material received on 15.12.22

\*А. И. Огаркова<sup>1</sup>, В. П. Марковский<sup>2</sup>, К. В. Таммышевский<sup>3</sup>,  
А. Б. Утегулов<sup>4</sup>, И. В. Кошкин<sup>5</sup>

<sup>1</sup>А. Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ;

<sup>2</sup>Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

<sup>3</sup>А. Г. және Н. Г. Столетовтар атындағы Владимир мемлекеттік  
университеті, Ресей Федерациясы, Владимир қ;

<sup>4</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ;

<sup>5</sup>А. Байтұрсынов атындағы Қостанай аймақтық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

### **ИМПУЛЬСТІК РЕФЛЕКСОМЕТРИЯ ӘДІСІМЕН 6 (10) КВ ЖЕЛІНІҢ КАБЕЛЬДІК БЕРУ ЖЕЛІСІНДЕГІ АҚАУҒА ДЕЙІНГІ ҚАШЫҚТЫҚТЫ ӨЛШЕУДІҢ ЕКІ ЖАҚТЫ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ**

*Бұл ғылыми мақалада оқшауланған бейтарапты желідегі 6 (10) кВ кабельдік желідегі ақаудың орнын анықтау кезінде екі жақты өлшеу қарастырылады. Әдіс екі жағынан кабельдік желілерде дефекация орнына дейінгі қашықтықты өлшеу кезінде орналастыру құрылғыларын қолдануды қамтиды. Бұл жабудың күрделі түрлерін анықтау және апат орнына дейінгі қашықтықты дәлірек анықтау үшін қажет. Теориялық зерттеулердің нәтижелері IP–8 локаторымен бірге R5–13/1 гетерогенділік өлшегішін қолданатын тәжірибелермен расталды. Күрделі зақымданудың орнын анықтау бойынша негізгі тәжірибелерден басқа импульсті өлшеу әдісінің параметрлерін зерттеу бойынша тәжірибелер жүргізілді. Қысқарту*

*коэффициентінің зақымданған жерге дейінгі қашықтықты анықтау дәлдігіне әсері зерттелді.*

*Кернеуі 6 (10) кВ кабельдік желілердегі ақауға дейінгі қашықтықты табудың екі жақты өлшеу әдісі электрмен жабдықтау жүйелерінің үздіксіздігі мен сенімділігін жақсарту үшін, сондай-ақ оларды пайдалану кезінде электр қауіпсіздігі деңгейін арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін операция.*

*Кілтті сөздер: кабель үзілуі, рефлексометрия, біркелкі емес өлшегіш, электр желісі, оқшауланған бейтарап, жерге қосу, ақаудың орналасуы, модельдеу, оқшаулау, сенімділік, қуат сапасы, апаттық режим.*

\*А. И. Огаркова<sup>1</sup>, В. П. Марковский<sup>2</sup>, К. В. Таммышевский<sup>3</sup>,  
А. Б. Утегулов<sup>4</sup>, И. В. Кошкин<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынова,  
Республика Казахстан, г. Костанай;

<sup>2</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, Павлодар;

<sup>3</sup>Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г.  
Столетовых, Российская Федерация, г. Владимир;

<sup>4</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, Астана;

<sup>5</sup>Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынова,  
Республика Казахстан, г. Костанай.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

### **РАЗРАБОТКА ДВУСТОРОННЕГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО МЕСТА ДЕФЕКТА В КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СЕТИ АПРЯЖЕНИЕМ 6(10) КВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКСОМЕТРИИ**

*В данной научной статье рассмотрен двустороннего измерения при определении места повреждения в кабельной линии 6(10) кВ в сети с изолированной нейтралью. Метод предполагает использование локационных устройств, при измерении расстояний до места дефекта в кабельных сетях с двух сторон. Это необходимо для выявления сложных видов замыканий и более точного определения расстояния до места аварии. Результаты теоретических исследований были подтверждены проведенными экспериментами с использованием измерителя неоднородностей P5–13/1 вместе с трассоискателем*

*ИП–8. Помимо основных опытов по определению места сложных повреждений, были проведены опыты по исследованию параметров импульсного метода измерений. Было исследовано влияние коэффициента укорочения на точность определения расстояния до места повреждения.*

*Метод двусторонних измерений поиска расстояния до места повреждения в кабельных сетях напряжением 6(10) кВ может быть использован для повышения бесперебойности и надежности систем электроснабжения, а также роста уровня электробезопасности при их эксплуатации.*

*Ключевые слова: обрыв кабеля, рефлектометрия, измеритель неравномерности, электрическая сеть, изолированная нейтраль, заземление, место повреждения, моделирование, изоляция, надежность, качество электроэнергии, аварийный режим.*

**\*Д. Ж. Омарханова<sup>1</sup>, Ж. О. Оралбекова<sup>2</sup>,  
Б. Б. Шолпанбаев<sup>3</sup>, А. Б. Серикбаева<sup>4</sup>**

<sup>1,4</sup>С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

<sup>3</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

## **АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ГЕОРАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕ АРҚЫЛЫ ЖЕР ЖАБЫНДАРЫН ЗЕРТТЕУ ДЕРЕКТЕРІН ИНТЕРПРЕТАЦИЯЛАУ**

*Бұл мақалада Қазақстан Республикасының Алматы облысынан басталған Алматы – Нұр-Сұлтан тас жолының ұзындығы 100 км учаскесін геофизикалық зерттеу бойынша эксперименталды зерттеулер ұсынылған. Зерттеу нысаны ретінде жол бөлігі 3 жерден: қабаттарды анықтау үшін жолдың жақсы сақталған жабындысы бар учаскесінде; жолдың айқын зақымдануы бар учаскесінде (шұңқырлар, ойықтар, көлденең және торлы жарықтар бар); дренаждық құбыры бар жол учаскесінде таңдалды. Есептің қойылуы ү 0,1 м дәлдікпен қабаттардың құрылымы туралы түсінік беретін бұзылмайтын, жылдам әдісті қолдануды талап ететіндіктен, эксперименттік зерттеулер жер бетіне енетін георадар «Лоза В» арқылы жүргізілді. Дәлдік үшін әртүрлі профиль қадамдары бар әртүрлі антенналар пайдаланылды. Георадарлық зерттеулерде түсіру қадамы маңызды рөл атқарады. Кемшіліктер мен олардың себептерін анықтау үшін астыңғы қабаттар мен асфальтбетонның құрылымын геофизикалық зерттеу нәтижелері берілген. Ұсынылған әдісті басқа нысанда ұшу-қону жолақтарының жер асты жабындарын зерттеуде қолданады. Бұл жұмыстардың нәтижелерін пайдалану кезінде жол жабындарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында Қазақстан Республикасының климаттық жағдайларын ескере отырып, жоғары термиялық тұрақтылығы, беріктігі мен ұзақ*

мерзімділігі бар асфальт қоспасының композицияларын әзірлеуде пайдалануға болады.

*Кілттік сөздер: интерпретация, эксперименталды зерттеулер, георадар, технология, геодеректер, радарограмма.*

### Кіріспе

Қазіргі уақытта жол жабындарын зерттеуде тас жолдарды жөндеу мен қайта жаңартуды кейіннен жоспарлау үшін бұзбайтын бақылау құрылғыларды қолдану негізінде жол конструкцияларын тексерудің үнемді және ұтқыр әдістері ерекше өзектілікке ие болуда. Бұзбайтын бақылау технологияларының негізгі қажеттілігі зерттелетін объектіні оның тұтастығын бұзбай, кейде жұмысын тоқтатпай бағалау қажеттілігінен тұрады, яғни әдеттегі визуалды тексеру және қиратусыз сынақ үшін қол жетімсіз нәрсені автоматтандырылған құрылғылар арқылы көру қажет.

Жер асты объект радиолокациясы құрылыс, археология, геология, геофизика, кедендік бақылау салаларындағы объектілерді бұзбай бақылау және сынақтан өткізу үшін қолданылады [1-4]. Қазіргі уақытта диагностика үшін жер асты радиолокациялық аспаптар (GPR) қолданылады. Кең коммерциялық қолдануды тапқан құрылғылардың әртүрлі модификациялары бар. Біздің елімізде Ресей, Латвия сияқты елдерде өндірілген георадарды қолдану тәжірибесі бар [5-10]. Дегенмен, қолданыстағы GPR енгізілген бағдарламалық жасақтамасы зерттелетін объектілердің геоэлектрлік қасиеттерін анықтау әдістерін жеткілікті түрде сипаттамайды, өйткені бұл енгізілген бағдарламалар коммерциялық сипатта болады. Бұл жұмыстың нәтижесі GPR деректерін интерпретациялау әдістерін әзірлеуге үлес болып табылады және кейінірек климаттық жағдайларды және астыңғы қабатты дайындауды ескере отырып, жоғары термиялық тұрақтылығы, беріктігі және ұзақ мерзімділігі бар асфальтбетон қоспаларының композицияларын әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

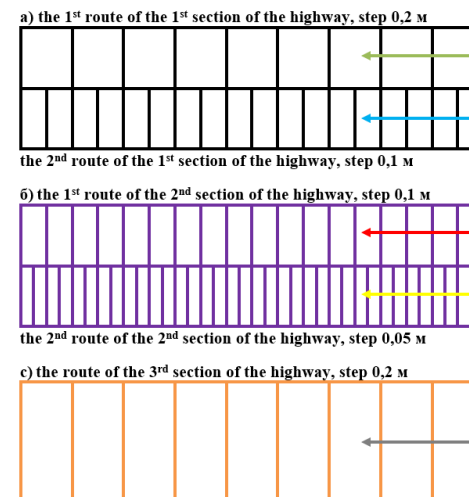
Зерттеу нысаны ретінде жолдың келесі 3 бөлігі таңдалды:

- 1 Ұзындығы 44 метр жақсы сақталған тротуарлы тас жол учаскесі.
- 2 Ұзындығы 47 метрге жуық жолдың айқын зақымдануы бар учаскесі (шұңқырлары, ойықтары, көлденең және торлы жарықтары бар).
- 3 Ұзындығы 30 метр су төгетін құбыры бар автомобиль жолының учаскесі.

Мақсаты: Қазақстан Республикасының Алматы облысындағы Алматы қаласынан 100 км қашықтықтағы учаскедегі Алматы-Нұр-Сұлтан автомобиль жолы құрылымының ішкі құрылымын георадарлық зерттеу мысалында ұсынылған әдістемені сынау.

### Материалдар мен әдістер

Есепті қою  $\pm 0,1$  м дәлдікпен қабаттардың құрылымы туралы түсінік беретін бұзылмайтын, жоғары жылдамдықты әдісті қолдануды талап етеді. Георадардың жұмыс істеу принципі сәуле шығаруға негізделген. зондталатын ортаға ультра кең жолақты жоғары жиілікті электромагниттік импульстар және біртекті еместерден және ортаның қалыңдығындағы объектілерден шағылысқан сигналдарды қабылдау. Алынған ақпарат георадарға жазылады.



Сурет 1 – Бақылау схемасы:

- а жақсы сақталған жабындысы бар тас жолдың 1-ші учаскесі;
- ә айқын зақымданған тас жолдың 2-ші учаскесі;
- б дренажды құбыры бар тас жолдың 3-ші учаскесі.

Эксперименттік зерттеулерде келесі әдісті қолдандық: дәлдік үшін әртүрлі антенналары бар бөлек профильдермен өту. Георадар профилін қолдану нақты жағдайлардың және себептердің қосындысы мәселелерді сәтті шешуге айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Георадар өлшемдері профиль бойынша жүргізіледі. Профиль - бұл радарограмма, өлшеулер кезінде жер бетінен алынған сызық. Профильдерді төсеу және профиль бойынша қозғалыс жылдамдығын немесе бақылау нүктелері арасындағы қадамды таңдау жоспарлау кезеңі болып табылады. Георадар профилін жасау – объектілердің кеңістіктік сипаттамаларын анықтау және осы объектілердің түрлерін анықтау. Георадар уақыт пен сигнал амплитудасына байланысты

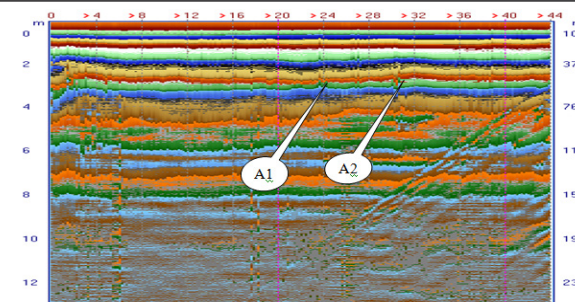
график жазуды бастайды. Әрбір жол бірнеше нүктеде қалпына келтіріледі. Қоршаған ортаның физикалық қасиеттерін зерттеу арқылы тереңдетілген параметрлерге өтуге болады. Зерттеу тереңдігі - шағылыстыратын объектінің максималды тереңдігі. Сондықтан георадар тереңдігін бағалауға көп көңіл бөлінеді [8, 9].

Пайдаланылатын антенналар жиілік диапазонында (50-150 МГц) дыбыс шығару мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бір немесе басқа антеннаны пайдалану зондтау кезінде шешетін тапсырмамен анықталады. Дыбыс шығару жиілігінің жоғарылауы ажыратымдылықтың жақсаруына әкеледі, қоршаған ортадағы электромагниттік толқындардың әлсіреуі де жоғарылайды, бұл дыбыс шығару тереңдігінің төмендеуіне әкеледі, және керісінше, жиіліктің төмендеуі дыбыстың жоғарылауына әкелуі мүмкін. дыбыс тереңдігі, бірақ бұл ажыратымдылықты нашарлатады. Сонымен қатар, жиіліктің төмендеуімен георадардың бастапқы сезімталдық аймағы (өлгі аймақ) артады. Пайдаланылатын антенналар жиілік диапазонында (50-150 МГц) дыбыс шығару мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бір немесе басқа антеннаны пайдалану зондтау кезінде шешетін тапсырмамен анықталады.

Сондай-ақ, георадарлық зерттеулерде түсіру қадамы маңызды рөл атқарады. Бұл зерттеудің дұрыстығына және деректердің интерпретациясын жасай алатынымызға байланысты. Құбырлар, кабельдер, траншеялар сияқты шағын нысандар үшін өндіруші ұсынған қадам 0,2 м-ден аспайды. Егер қашықтық үлкенірек болса, профиль ақпаратсыз болады және деректерді түсіндіру қиын болуы мүмкін. Осыған байланысты жолдың әртүрлі учаскелері үшін эксперимент үшін әртүрлі қадамдар таңдалды. Бұл геофизикалық құрылғыны қолданудың барлық техникалық сипаттамалары мен ерекшеліктері сипатталады [7].

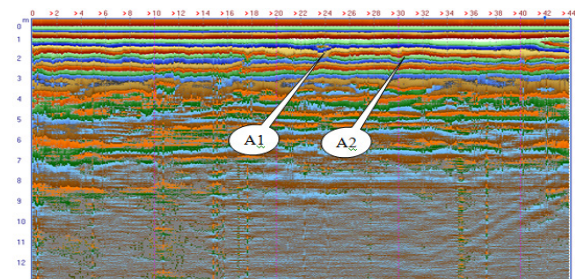
#### Нәтижелер және талқылау

«Лоза В» георадарда «Krot179Ns» кірістірілген бағдарламалық қамтамасыз етуі бар [9]. Krot179Ns бағдарлама жұмысының нәтижесінде 2-суретте бірінші трассаның профилі көрсетілген, ол 1 суретте жасыл жебемен белгіленген.



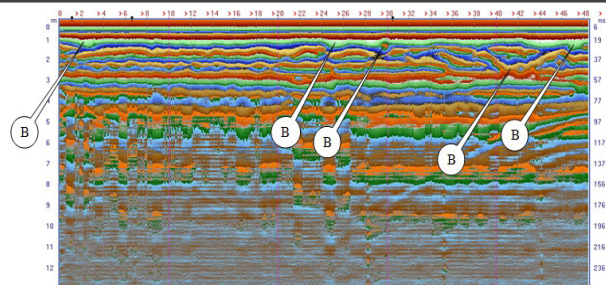
Сурет 2 – 0,2 м қадаммен трассаның профилі, антенналар арасындағы қашықтық 1,5 м.

3-суретте екінші трассаның профилі көрсетілген, ол 1-суретте көк жебемен белгіленген.

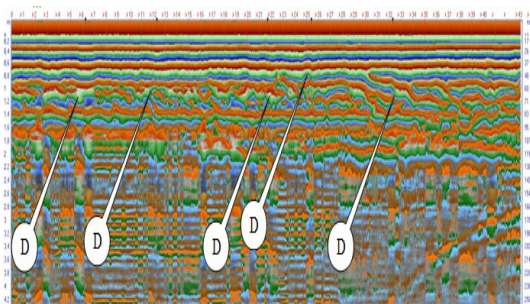


Сурет 3 – 0,1 м қадаммен 2-ші трассаның профилі, антенналар арасындағы қашықтық 1 м.

Екі түрлі антенналардың радарограммаларында қабаттар екі өлшемде сәйкес келетін төменгі қабаттардағы кішігірім бұзушылықтармен тегіс болып көрінеді (2-суреттегі және 3-суреттегі A1 және A2 көрсеткіштері). 4-5-суреттерде жолдың екінші бөлігіндегі жолдар үшін ұқсас үлгілер (GPR профилдері) көрсетілген.

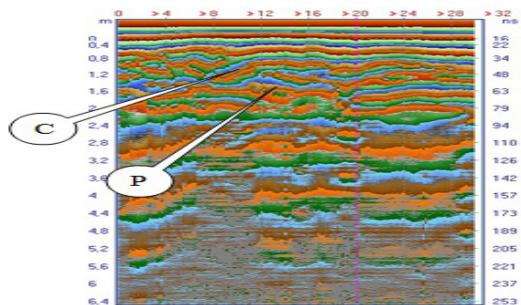


Сурет 4 – 0,1 м қадаммен 1 метрлік антеннасы бар автомобиль жолының екінші учаскесінің бірінші өлшем профілі.



Сурет 5 – 0,5 м қадаммен автомобиль жолының 2-ші учаскесінің 2-ші өлшемінің профілі, 0,05 м қадаммен антенна.

6 суретте автожолдың үшінші учаскесінің жол профілін көрсетеді.

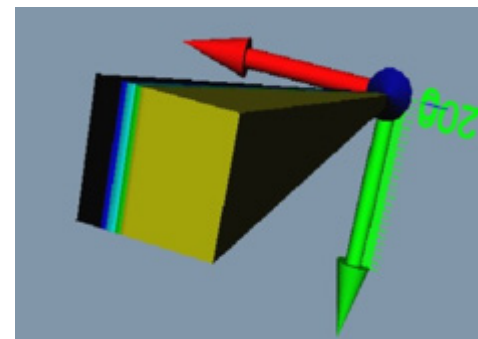


Сурет 6 – 0,1 м қадаммен автомобиль жолының 3-ші учаскесінің трассасының профілі, антенналар арасындағы қашықтық 1 м.

Үшінші бөлімде бетон төбесі бар (сурет 6, индекс Р) бетон құбыры (сурет 6, индекс С) көрінеді.

Екі өлшемде де 2 бөлімді жолдың төменгі қабаттарда айқын ауытқулар (ылғалдылық, шөгу және т.б.) байқалады, кейін олар жоғарғы қабатта (асфальтта) шұңқырлар, көлденең және торлы жарықтар түрінде көрінеді. 4 суретте астыңғы қабаттардағы ауытқуларды көрсетеді (B көрсеткіштері). Сондай-ақ, төменгі қабаттардың бір-бірімен қабаттасып, араласатынын көруге болады. Құмды жер төленің төменгі шекарасы контрастсыз көрсетілген. Өлшеу кезінде асфальттағы кедергі аймақтары төменгі қабаттардағы ауытқуларға сәйкес белгілермен белгіленді (5-сурет, D көрсеткіші).

7-суретте 2 м тереңдіктегі зерттелетін жолдың таңдалған қабаттары көрсетілген: асфальт, астыңғы қабаттар (қиыршық тас, үйінділер, бұдырлар), сусымалы топырақ.



Сурет 7 – Жолдың қабаттары

Алынған GPR деректері MSExcel бағдарламасына импортталды, олар кейінірек қабат-қабат қайта есептеу әдісі арқылы геоэлектриканың кері есебін шешу үшін кіріс деректері ретінде пайдаланылады [10]. Қоршаған орта моделі көп деңгейлі болып табылады.

#### Қорытынды

Бұл жұмыста жолдың жақсы жабындысы бар бірінші учаскесі үлгі ретінде таңдалды. Жолдың екінші бөлігінде қабаттардың жылжуы мен тегістігінің өзгеруіне байланысты көптеген ауытқулар бар, олар жоғарғы асфальт қабатында шұңқырлар, көлденең және торлы жарықтар түрінде байқалады. Екінші секцияның төменгі қабаттарының өзгеруі батпақтанумен байланысты. Асфальттың астында құбырдың болуы трассаның үшінші бөлігіндегі ақаудың себебі болып табылады.



Ұсынылған әдісті басқа нысанда ұшу-қону жолақтарының жер асты жабындарын зерттеуде қолданып, жақсы нәтиже бергенін айта кеткені жөн [6].

Кейінгі зерттеулерде тас жолдың екінші учаскесі үшін алынған георадар деректері [10] сипатталған геоэлектриканың кері коэффициенттік есебін шешу үшін кіріс деректер ретінде пайдаланылады.

Бұл жұмыстардың нәтижелерін пайдалану кезінде жол жабындарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында Қазақстан Республикасының климаттық жағдайларын ескере отырып, жоғары термиялық тұрақтылығы, беріктігі және ұзақ мерзімділігі бар асфальтбетон қоспаларының композицияларын әзірлеуде пайдалануға болады.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Carin L., Geng N., McClure M., Sichina J., Nguyen L.** Ultra-wide-band synthetic-aperture radar for mine-field detection, *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 1999, vol. 41, no. 1, P. 18–33.

2 **Arcone S.A., Prentice M.L., Delaney A.J.** Stratigraphic Profiling with Ground-Penetrating Radar in Permafrost: A Review of Possible Analogs for Mars. *J. Geophys. Res.* 2002, P. 107, P. 1–14.

3 **Xiao J., Liu L.** Signal Fusion Using Extrapolation with Deterministic Deconvolution on Multi-Frequency Qinghai-Tibet Railway GPR Data for Permafrost Subgrade Detection. In *Proceedings of the 15th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Brussels, Belgium, 30 June–4 July 2014; P. 586–589.

4 **Shen Y., Lin Y., Li P., Fu Y., Wang Y.** Simulation and detection leakage of underground water pipeline by ground penetrating radar, *Journal of Testing and Evaluation* 2019, vol. 48(3): 20190181

5 **Dorn C., Linde N., Doetsch J., Le Borgne T., Bour O.** Fracture imaging within a granitic rock aquifer using multiple-offset single-hole and cross-hole GPR reflection data. *J. Appl. Geophys.* 2012, P. 78, P. 123–132.

6 **Hu S.F., Zhao Y.H., Rao C.F., Qin T., An C., Ge S.C.** GPR tomography based on regularization method for concrete defect detection. In *Proceedings of the 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, Hong Kong, China, 13–16 June 2016; P. 1–6.

7 **Qin H., Xie X., Tang Y., Wang Z.** Detection of diaphragm wall defects using crosshole GPR. In *Proceedings of the 17th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Rapperswil, Switzerland, 18–21 June 2018; P. 1–4.

8 **Lai W.W.L., Dérobert X., Annan P.** A review of ground penetrating radar application in civil engineering: A 30-year journey from locating and testing to imaging and diagnosis. *NDT E Int.* 2018, P. 96, P. 58–78.

9 **Zhartybayeva M., Oralbekova Z., Iskakov K.** The Interpretation of the Radarograms on the Basis of Experimental Data, *Acta Physica Polonica* 2015, vol. 128(2), P. 467–468.

10 **Oralbekova Z.O., Tyulepberdinova G.A., Gaziz G.G., Adamova A.D., Sholpanbaev B.B.** The use of radar technologies in the hydraulic engineering in seismic zones, *Journal of Applied Engineering Science* 2021, vol. 19(4), P. 1040–1048.

#### REFERENCES

1 **Carin L., Geng N., McClure M., Sichina J., Nguyen L.** Ultra-wide-band synthetic-aperture radar for mine-field detection, *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 1999, vol. 41, no. 1, P. 18–33.

2 **Arcone S.A., Prentice M.L., Delaney A.J.** Stratigraphic Profiling with Ground-Penetrating Radar in Permafrost: A Review of Possible Analogs for Mars. *J. Geophys. Res.* 2002, vol. 107, P. 1–14.

3 **Xiao J., Liu L.** Signal Fusion Using Extrapolation with Deterministic Deconvolution on Multi-Frequency Qinghai-Tibet Railway GPR Data for Permafrost Subgrade Detection. In *Proceedings of the 15th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Brussels, Belgium, 30 June–4 July 2014; P. 586–589.

4 **Shen Y., Lin Y., Li P., Fu Y., Wang Y.** Simulation and detection leakage of underground water pipeline by ground penetrating radar, *Journal of Testing and Evaluation* 2019, vol. 48(3): 20190181

5 **Dorn C., Linde N., Doetsch J., Le Borgne T., Bour O.** Fracture imaging within a granitic rock aquifer using multiple-offset single-hole and cross-hole GPR reflection data. *J. Appl. Geophys.* 2012, vol. 78, P. 123–132.

6 **Hu S.F., Zhao Y.H., Rao C.F., Qin T., An C., Ge S.C.** GPR tomography based on regularization method for concrete defect detection. In *Proceedings of the 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, Hong Kong, China, 13–16 June 2016; P. 1–6.

7 **Qin H., Xie X., Tang Y., Wang Z.** Detection of diaphragm wall defects using crosshole GPR. In *Proceedings of the 17th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Rapperswil, Switzerland, 18–21 June 2018; pp. 1–4.

8 **Lai W.W.L., Dérobert X., Annan P.** A review of ground penetrating radar application in civil engineering: A 30-year journey from locating and testing to imaging and diagnosis. *NDT E Int.* 2018, vol. 96, P. 58–78.

9 **Zhartybayeva M., Oralbekova Z., Iskakov K.** The Interpretation of the Radarograms on the Basis of Experimental Data, *Acta Physica Polonica* 2015, vol. 128(2), P. 467–468.

**10 Oralbekova Z.O., Tyulepberdinova G.A., Gaziz G.G., Adamova A.D., Sholpanbaev B.B.** The use of radar technologies in the hydraulic engineering in seismic zones, Journal of Applied Engineering Science 2021, vol. 19(4), P. 1040–1048.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

\*Д. Ж. Омарханова<sup>1</sup>, Ж. О. Оралбекова<sup>2</sup>, Б. Б. Шолпанбаев<sup>3</sup>,  
А. Б. Серикбаева<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Казахский агротехнический университет им.С.Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г.Нур-Султан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева,  
Республика Казахстан, г.Нур-Султан

<sup>3</sup>Казахский национальный педагогический университет им.Абая,  
Республика Казахстан, г.Алматы

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В данной статье представлены экспериментальные исследования по геофизическому изучению 100 км автомобильной дороги Алматы-Нур-Султан, начавшиеся в Алматинской области Республики Казахстан. В рамках исследования участок дороги располагается в 3-х местах: на участке дороги с хорошо сохранившимся дорожным покрытием для выявления слоев; на участке дороги с явными повреждениями (ямы, выбоины, горизонтальные и решетчатые трещины); был выбран на участке дороги с дренажной трубой. Поскольку задача требует применения неразрушающего экспресс-метода, дающего представление о строении пласта с точностью  $\pm 0,1$  м, экспериментальные исследования проводились с помощью георадара «Лоза Б», проникающего в толщу поверхность. Для точности использовались разные антенны с разным шагом профиля. Этап съемки играет важную роль в георадиолокационных исследованиях. Представлены результаты геофизических исследований строения грунта и асфальтобетона для определения недостатков и их причин. Предлагаемый метод используется в другом виде для исследования напочвенного покрова взлетно-посадочных полос. Результаты данной работы могут быть использованы при разработке составов асфальтобетонных смесей с повышенной термостойкостью,

*прочностью и долговечностью с учетом климатических условий Республики Казахстан, с целью обеспечения безопасности дорожных покрытий при эксплуатации.*

*Ключевые слова: интерпретация, экспериментальные исследования, георадар, технология, геоданные, радарограмма.*

\*D. Zh. Omarkhanova<sup>1</sup>, Zh. O. Oralbekova<sup>2</sup>, B. B. Sholpanbaev<sup>3</sup>, A. B. Serikbaeva<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,  
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan

<sup>2</sup>L. N. Gumilyov Eurasian national University,  
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan

<sup>3</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University,  
Republic of Kazakhstan, Almaty

Material received on 15.12.22

### INTERPRETATION OF THE ROAD SURFACE RESEARCH DATA USING AN AUTOMATED GEORADAR LOCATION SYSTEM

*This article presents experimental studies on the geophysical study of 100 km of the Almaty – Nur-Sultan highway, which began in the Almaty region of the Republic of Kazakhstan. As part of the study, the road section is located in 3 places: on a road section with a well-preserved road surface to identify layers; on a road section with obvious damage (pits, potholes, horizontal and lattice cracks); was selected on a road section with a drainage pipe. Since the task requires the use of a non-destructive express method that gives an idea of the structure of the formation with an accuracy of  $\pm 0.1$  m, experimental studies were carried out using a ground-penetrating radar «Loza B» penetrating into the thickness of the surface. For accuracy, different antennas with different profile pitch were used. The shooting stage plays an important role in geo-radar research. The results of geophysical studies of the structure of soil and asphalt concrete to determine the shortcomings and their causes are presented. The proposed method is used in another form to study the ground cover of runways. The results of this work can be used in the development of asphalt-concrete mixtures with increased thermal resistance, strength and durability with consideration of climatic conditions of the Republic of Kazakhstan, with the aim of ensuring safety.*

*Keywords: interpretation, experimental research, georadar, technology, geodata, radarogram.*

[doi.org/10.48081/TQDO3833](https://doi.org/10.48081/TQDO3833)

**\*Д. У. Суғиров<sup>1</sup>, М. К. Суйменова<sup>2</sup>, К. Ш. Ержанов<sup>3</sup>,  
К. М. Шайхиева<sup>4</sup>, Н. А. Жайылхан<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Каспийский университет технологий и инжиниринга

имени Ш. Есенова, Казахстан, г. Актау

## **СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПУЧКЕ ГЛАДКИХ ТРУБ**

Целью данной статьи является обзор существующих методов интенсификации теплообмена, и изучение математической модели повышения эффективности при применении лепестковых турбулизаторов. Так как, именно введение турбулизаторов в проточный канал является одним из лучших методов увеличения теплообмена за счет таких их преимуществ как легкость изготовления, эксплуатации, а также низких эксплуатационных и производственных расходов. В этом обзоре собраны обширно изученные за последнее десятилетие как пассивные, так и активные методики интенсификации теплообмена. Для этого использовались самые новые работы и исследования преимущественно зарубежных авторов, проведен их подробный анализ и подведены итоги. Так же, в этой работе исследуется математическая модель повышения тепловой эффективности конвективных поверхностей нагрева в пучке гладких труб при применении лепестковых турбулизаторов, результаты моделирования которой были проверены на экспериментальной установке. Повышение тепловых характеристик систем теплообменников необходимо для эффективного использования источника энергии, из-за стремительного роста цен на нефть и уголь. Актуальность данной статьи состоит в том, что, развитие высокопроизводительных тепловых систем повысило интерес к повышению теплопередачи. В особенности определенные экономические события приводят к тому, что снижается уровень эксплуатации и модернизации существующих котлов и ТЭЦ, в частности темпы роста промышленного потребления тепловой энергии замедляются, появились повышенные

требования к экологической безопасности, надежности и качеству теплоснабжения, происходит переориентация существующих и новых источников теплоснабжения для собственных видов топлива, а так же произошло резкое сокращение объема централизованного национального финансирования объектов теплоснабжения. Так же, в этой работе исследуется математическая модель повышения тепловой эффективности конвективных поверхностей нагрева в пучке гладких труб при применении лепестковых турбулизаторов, результаты моделирования которой были проверены на экспериментальной установке.

Ключевые слова: турбулизация, тепловые котлы, повышение теплообмена, трение потока, закрученный поток.

### **Введение**

Вопросы энергосбережения и улучшения теплопередачи становятся все более важными из-за почти истощенных энергетических ресурсов.

Одним из основных резервов снижения удельных затрат топлива на единицу произведенной теплоты, заключается в повышении коэффициента полезного действия котлов. В частности, за счет увеличения использования тепла выхлопных газов, по той причине, что через эти потери может теряться до 20% тепловой энергии. В данной статье рассматриваются разные виды отопительных котлов, в разных регионах. В том числе учитывается теплый климат Южной Европы и Средней Азии, в которых большинству промышленных отопительных котлов нет необходимости работать в течение всего года на полную мощность. Скорости выхлопных газов могут быть занижены и процессы конвективного теплообмена в хвостовых поверхностях отличаться от проектных.

Теплообменники являются одним из основных компонентов и напрямую влияют на тепловую эффективность систем.

Технологии улучшения теплопередачи играют важную роль для теплопередачи ламинарного потока, обычно коэффициенты теплопередачи ламинарного потока в гладких трубах [1,2,3,4,5]. Скорость теплопередачи может улучшаться путем нарушения потока жидкости, которое может быть достигнуто с помощью вставления турбулизатора в круглую трубку.

Введение турбулизаторов в проточную часть является одним из лучших способов увеличения теплопередачи благодаря преимуществам в легкости изготовления и применения, а также низкие эксплуатационные расходы [6,7]. В целом, производительность турбулизаторов сильно зависит от их геометрии. Увеличение конвективного теплообмена во внутренних потоках с

ленточными вставками в трубах – хорошо зарекомендовавшая себя техника, используемая в производственной практике.

**Материалы и методы**

В основу данной научно–исследовательской, фундаментально изученной работы легло качественное, надежное соединение проверенных теоретических методов (анализ, синтез, конкретизация, обобщение, моделирование), и эмпирических методов (изучение исследовательских экспериментальных работ зарубежных и российских ученых и их опыт в данной или похожей сфере с применением схожих целью конструкций и изучения их опытными специалистами).

Теоретическую базу данной научной статьи составляют преимущественно тематические исследования, состоящие из научно–практических, научно–исследовательских и обзорных научных статей, включающие в себя экспериментальные методы и описания экспериментов. Анализы, статистики и прочие виды работ зарубежных исследователей, взятых с официальных источников с достоверной информацией, направленных на изучение большого ряда проблемных вопросов, с которыми можно столкнуться в процессе применения освещенных методов, связанных с математической моделью конвективных поверхностей нагрева при применении лепестковых турбулизаторов.

**Результаты и обсуждение**

В данной части рассмотрено составление математической модели в трубном пучке, а также изучены физические основания процессов, на основе трудов [8,9]. На основе законов термодинамики и явлений переноса, были созданы методы гидравлического и теплового расчета.

В физике такие явления переноса можно назвать необратимыми процессами статистического характера, которые возникают, когда молекулы непрерывно двигаются, и возникают в большинстве своём в жидкостях. Явление переноса построено на нескольких фундаментальных понятиях, таких как законы сохранения, которые в связи с явлениями переноса должны формулироваться как уравнения неразрывности, и определяющие уравнения.

Ньютон, Фик и Фурье установили законы переноса массы, теплоты и импульса.

$$\left. \begin{aligned}
 q^E &= -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{3} \tilde{\rho} \tilde{c}_v \omega_m \sigma \frac{\partial T}{\partial z} && \text{(Фурье, 1821)} \\
 \mu_j^E &= -\tilde{\rho} \tilde{D} \frac{\partial \tilde{x}_j}{\partial z} = \frac{1}{3} \tilde{\rho} \omega_m \sigma \frac{\partial \tilde{x}_j}{\partial z} && \text{(Фик, 1855)} \\
 \tau &= -\eta \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{3} \tilde{\rho} \tilde{M} \omega_m \sigma \frac{\partial u}{\partial z} && \text{(Ньютон, 1687)}
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\tilde{\rho}$  – молярная плотность;  $\omega t$  – средняя скорость молекул газа;  $\sigma$  – средняя длина свободного пробега молекул;  $\tilde{M}$  – масса одного моля;  $dT/dz$  – градиент температуры;  $d\tilde{x}_j/dz$  – градиент мольной доли компонента  $j$ ;  $du/dz$  – градиент скорости.

Представленные уравнения показывают фундаментальную связь между явлениями переноса и термодинамикой, и она объясняет, почему явления переноса невозможно обратить вспять. Большая часть физических явлений, в конце концов связаны с системами, которые ищут свое самое низкое энергетическое состояние с помощью с принципа минимума энергии. Все они, чем ближе приближаются к такому состоянию, тем больше стараются достичь истинное термодинамическое равновесие, во время которого транспорт прекращается и отсутствуют все силы движения. Все моменты такого баланса, прямо связаны с определенным переносом, где теплопередача это предпринятые попытки системы попасть в тепловое равновесие с окружающей его средой, по такому же принципу как перемещение импульсов и массы переносит систему к механическим и химическим балансам.

При рассмотрении математической модели теплообменника с турбулизатором, необходимо классифицировать течение в данном теплообменнике как течение в прямых каналах или трубах. Такая модель будет состоять из участка прямоугольного канала с турбулизирующим устройством длиной  $(l_1 + l_2)$  (рис. 1).

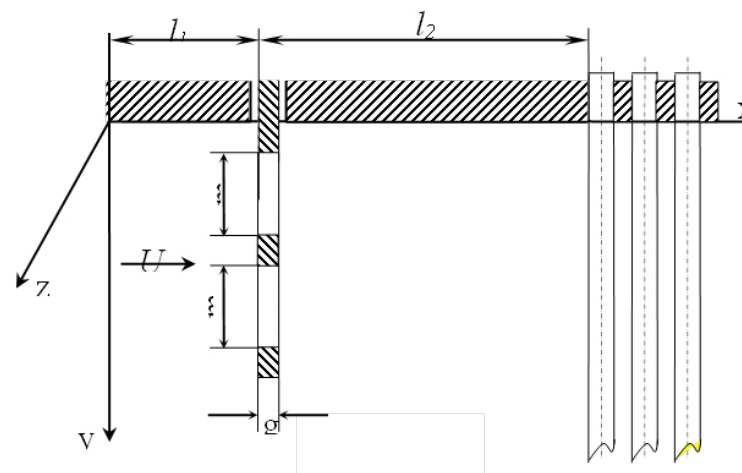


Рисунок 1– Схема системы с турбулизирующим устройством в виде перегородок с лепестковыми вырезами [9]

Рассматриваются уравнения Рейнольдса для осреднённого турбулентного течения в прямоугольной декартовой системе координат что бы описать турбулентное течения жидкости в установке. координат:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left( U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{xy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{xz}; \\ \rho \left( U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{yx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{yz}; \\ \rho \left( U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{zx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{zy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{zz}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где U, V, W — составляющие вектора скорости в направлении осей x,y,z (рис. 1); p — статическое давление; ρ — плотность жидкости. [9]

Дифференциальные уравнения привели к обобщенному виду:

$$\frac{\partial}{\partial x}(U\Phi) + \frac{\partial}{\partial y}(V\Phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \tilde{A}_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \tilde{A}_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + S_\Phi, \quad (3)$$

где переменная Φ обозначает поочередно U, V, k и ε, а коэффициенты ΓΦ и SΦ зависят от рода переменной.

Метод конечных разностей, путём аппроксимации разностными уравнениями применяется для решения дифференциальных уравнений (3), на основе метода Патанкара. Для этого изучаемую систему с турбулизирующей перегородкой разделяли сеткой с шагом Δx и Δy, ориентированную соответственно по оси x, y. В случае перегородки расположение узлов разностной сетки указано на рисунке 2.

А дифференциальное уравнение (3), примет вид

$$\begin{aligned} \frac{(U_j^{i+1} - U_j^i)(\Phi_j^{i+1} - \Phi_j^i)}{\Delta x} + \frac{(V_{j+1}^i - V_j^i)(\Phi_{j+1}^i - \Phi_j^i)}{\Delta y} = \\ = \tilde{A}_\Phi \frac{\Phi_j^{i+1} - 2\Phi_j^i + \Phi_j^{i-1}}{\Delta x^2} + \tilde{A}_\Phi \frac{\Phi_{j+1}^i - 2\Phi_j^i + \Phi_{j-1}^i}{\Delta y^2} + S_\Phi \end{aligned} \quad (4)$$

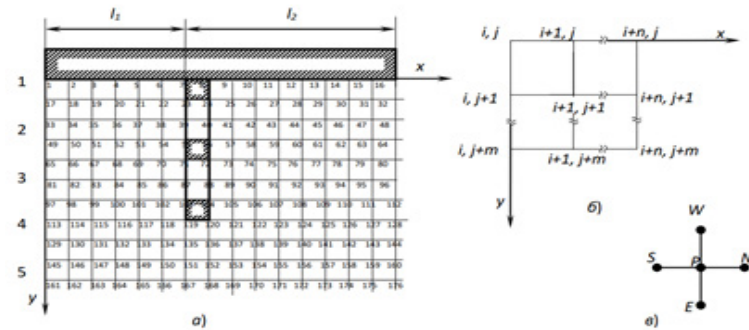


Рисунок 2 – Расположение разностной сетки.

а) расположение узлов разностной схемы, б) нумерация узлов, в) обозначение соседствующих точек. [5]

Устанавливались необходимые граничные условия. Так как система состоит из теплоносителя, движущегося в пространстве, ограниченного стенками аэродинамической трубы, поверхностью турбулизирующего устройства и сечением на входе и выходе на расстоянии (l1 + l2). Для всех переменных на входе задается условие Дирихле Φ(x,y)=Φo(xo,yo) для развитого турбулентного течения. Принимается условие, что на стенках аэродинамической трубы и поверхности турбулизирующего устройства U=V=0, а для k и ε применяются зависимости логарифмического закона распределения скоростей ди=(и/к) (ди/дl).

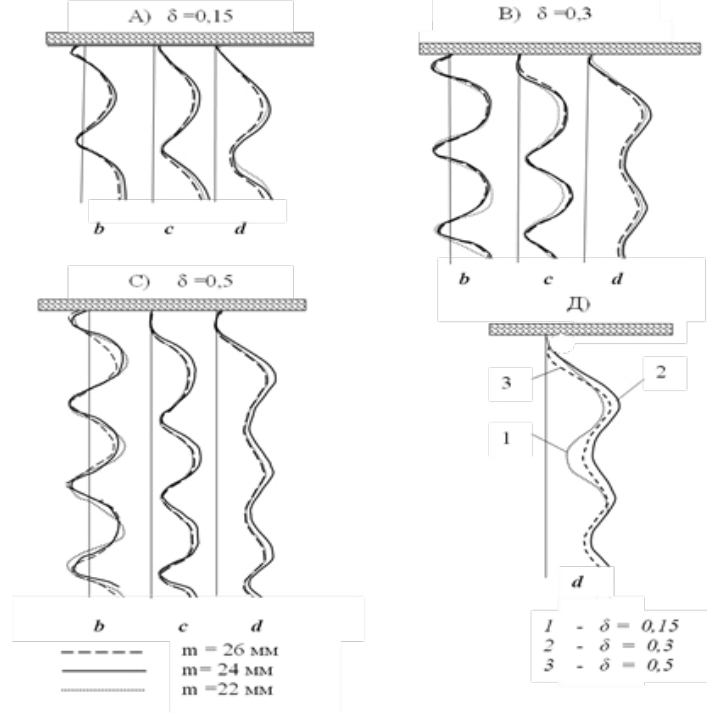


Рисунок 3 – Сопоставление профилей распределения скоростей после интенсифицирующей перегородки при  $\delta = 0,1; 0,3; 0,5$  и изменении размера выемки  $m$  от 22 до 26 мм. [9]

На границах математической модели для всех переменных задается условие Неймана,  $d\Phi/dx = d\Phi/du = 0$ .

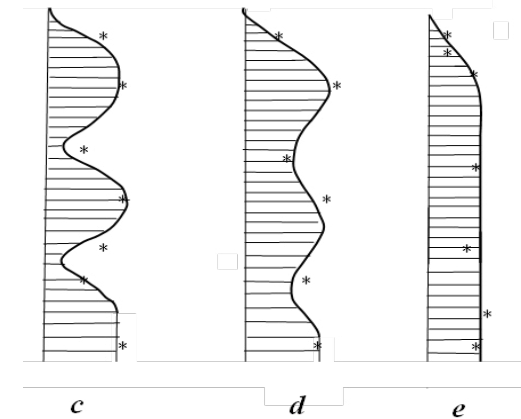
Приближая значения разностных уравнений, дифференциальные уравнения принимают алгебраический вид, которые имеют одинаковый вид для каждой переменной. Получаем систему алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} a_P^U &= a_E^U U_E + a_W^U U_W + a_N^U U_N + a_S^U U_S + S_U^U \\ a_P^V &= a_E^V V_E + a_W^V V_W + a_N^V V_N + a_S^V V_S + S_U^V \\ a_P^k &= a_E^k k_E + a_W^k k_W + a_N^k k_N + a_S^k k_S + S_U^k \\ a_P^\varepsilon &= a_E^\varepsilon \varepsilon_E + a_W^\varepsilon \varepsilon_W + a_N^\varepsilon \varepsilon_N + a_S^\varepsilon \varepsilon_S + S_U^\varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $a^{U,V,k,\varepsilon}$  и  $S^{U,V,k,\varepsilon}$  – коэффициенты, принимающие значения в зависимости от переменных  $U, V, k, \varepsilon; P, E, W, N, S$  – нумерация узлов, расположенных рядом друг с другом (рисунок 2, в). В матричной форме уравнения, которые образуются из уравнения (4), выглядят так:

$$H = a\Theta + S \quad \text{Где:} \quad (5)$$

$$H = \begin{bmatrix} a_P^U \\ a_P^V \\ a_P^k \\ a_P^\varepsilon \end{bmatrix} \quad a = \begin{bmatrix} a_E^U & a_W^U & a_N^U & a_S^U \\ a_E^V & a_W^V & a_N^V & a_S^V \\ a_E^k & a_W^k & a_N^k & a_S^k \\ a_E^\varepsilon & a_W^\varepsilon & a_N^\varepsilon & a_S^\varepsilon \end{bmatrix} \quad \Theta = \begin{bmatrix} U_n^U \\ V_n^V \\ k_n^k \\ \varepsilon_n^\varepsilon \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} S_U^U \\ S_U^V \\ S_U^k \\ S_U^\varepsilon \end{bmatrix} \quad (6)$$



\* – опытные точки

Рисунок 4 – Сравнение теоретических и экспериментальных значений. [9]

Авторы рассматривают движение жидкости в теплообменнике с турбулизатором как осредненное крупномасштабное движение. Когда движение слабо изменяется во времени или является стационарным, то эффективней для инженерных расчётов с точки зрения вычислений является рассмотрение осредненных по времени уравнений.

Турбулентность ограничивает применение уравнений для потоков (1), молекулярные коэффициенты переноса  $\lambda t, \sigma$  и  $\mu t$ . И так же, она может быть результатом произвольных движений турбулентных вихрей, в

жидкостях и газах. Размер этих вихрей может быть от миллиметра (в трубах теплообменника), до метров (в атмосфере) и всегда составляет несколько процентов от полного размера системы.

Системы разностных уравнений (6) образовали матрицы, из которых матрица коэффициентов  $P$ , а является матрицей переменных. Что бы обратить матрицы использовали метод Гаусса – Зейделя.

Для определения размеров экспериментальной установки были получены профили распределения скоростей до и после интенсифицирующей перегородки для вариантов  $\delta=0,15; 0,3; 0,5$  при изменении размера вырезов  $m$  от 22 до 26 мм (рис. 3), основываясь на проведенных ранее расчетов.

Рассматривая рисунок 3, сделали выводы что до перегородок профиль скоростей остается ровным, а после перегородки скорости достаточно резко изменяются. В местах, где потоку приходится столкнуться с перегородкой, возникают противодействия, которые образуют вихри. А в местах, где поток проникает сквозь отверстия в препятствии, скорости вырастают и их профили остаются строго параболическими.

Профили скоростей которые рассчитываются через конкретные одинаковые расстояния  $(11+10n_i)$  где  $n_i=2,4,6$  для  $c,d,e$ , дают понять, что провалы скоростях, которые были образованы противодействием, со временем сглаживаются (участки  $c-d$ ), и постепенно поток стабилизируется.

По графика из рисунка 3, можно заметить, что изменение в размере выемки  $m$  незначительно влияет на изменения скорости. Самое большое увеличение скорости, а в последствии и увеличение турбулизации потока, можно наблюдать, когда  $m=24$  мм.

Кроме этого, по графику из рисунка 3, можно заметить, что на  $A$ ,  $B$  и  $C$ , степень перекрытия газохода  $\delta$  имеет существенное влияние на изменение скорости. Самое большое его увеличение можно наблюдать, когда перегородка выдвигается на расстояние  $\delta=0,3$ , размер выемки  $m$  равняется 24 мм и расстояние установки турбулизатора до пучка будет 40 мм (участок  $d$ , рис. 3Д). Потому, тут будет происходить самая большая турбулизация теплового потока.

### Выводы

Повышение теплопередачи является предметом большого интереса для исследований, в которых основное внимание тому, как увеличить скорость теплопередачи и достичь более высокой эффективности. Показано, что на сегодняшний день существует большая информационная база по исследованиям различных способов и методов интенсификации. Интенсификация нашла широкое применение в теплообменном и котельном оборудовании. Однако необходимо выделить и основные проблемы. Многие

исследования отличаются противоречивостью полученных результатов. По некоторым промышленно перспективным интенсификаторам теплообмена не имеется данных по оптимальным геометрическим параметрам и целесообразным режимам их использования. Требуется выделение и изучение основных возможных механизмов интенсификации теплообмена и создание, и оптимизация интенсификаторов теплоотдачи на основе фундаментальных исследований данных механизмов. Увеличение конвективного теплообмена за счет вставки витого лепесткового турбулизатора в пучке гладких труб является одним из самых эффективных и перспективных подходов. В данной статье рассмотрены разные виды турбулизаторов, изучены новые перспективные направления повышения эффективности использования теплообменников, изучена разработка математической модели в трубном пучке и определение геометрических параметров экспериментальной установки. Проведен анализ существующих методов и категорий методов улучшения производительности теплообменников. Также, проводилось теоретическое обоснование и изучение экспериментов других авторов, которое дает возможность экспериментально подтвердить возможности и целесообразность повышения экологического и технико-экономического уровня котла на базе применения результатов выполненного комплекса исследований. Применение рассмотренных нами способов интенсификации теплообмена, позволяет сделать выводы о том, что турбулизаторы ленточного и лепесткового типа позволяют обеспечивать более глубокое охлаждение продуктов сгорания, что приводит к значительной экономии топлива в котельной, и снижает объемы выбросов в атмосферу токсичных продуктов сгорания. Изучены разработки, опытное применение которых подтверждает их надежность, эффективность и возможность достижения высоких технико-экономических показателей котельных, и они доведены до промышленного внедрения и используются.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Erbay, B., Celik, L., Hamdi, S. Improving heat transfer with various types of turbulators on heat exchangers –2021.–Volume 7.– Issue 7.– P. 1654 – 1670.
- 2 Promvonge, P., Skullong, S. Heat transfer in solar receiver heat exchanger with combined punched V-ribs and chamfer-V-grooves. Int J Heat Mass Transfer;– 2019–143:118486.
- 3 Li, X., Xie, G., Liu, J., Sunden, B. Parametric study on flow characteristics and heat transfer in rectangular channels with strip slits in ribs on one wall. Int J Heat Mass Trans.– 2020– 149:118396

4 **Salhi, J. E., Amghar, K., Bouali, H., Salhi, N.** Combined heat and mass transfer of fluid flowing through horizontal channel by turbulent forced convection. Model Simul Eng.–2020–1453893:1–11.

5 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Tian, Z., Goodarzi, M., Bandarra, E. P., Arjomandi, M.** (2019) Thermal assessment of nano–particulate graphene–water/ethylene glycol nano–suspension in a compact heat exchanger. Energies.–2019–12:1929.

6 **Promvonge, P., Skullong, S.** Enhanced Heat Transfer in Rectangular Duct with Punched Winglets, Chinese J Chem Eng.– 2020– 28:660–71.

7 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Goodarzi, M., Yang, B., Arjomandi, M.** Heat transfer analysis of Ga–In–Sn in a compact heat exchanger equipped with straight micro–passages. Int J Heat Mass Transf .–2019– 139:675–684.

8 **Сугиров, Д. У.** Теплообмен в пучке гладких труб при воздействии нескольких видов интенсификации теплообмена // Сборник материалов VII Международной научно–практической конференции. – 2020. – С.36–42.

9 **Сугиров, Д. У., Оспанова, С. М., Суйменова, С. М., Избасар, А. И., Есболай, Г. И.** Повышение тепловой эффективности конвективных поверхностей нагрева//Мир науки – Онлайн–издание.–2021. – 69с. Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/23MNNPM21.pdf>

10 **Бороденко, В. А.** Программирование в среде Turbo Basic (учебное пособие). – Павлодар : Кереку.– 2003. – 81 с.

## REFERENCE

1 **Erbay, B., Celik, L., Hamdi, S.** Improving heat transfer with various types of turbulators on heat exchangers –2021.–Volume 7.– Issue 7.– P. 1654 – 1670.

2 **Promvonge, P., Skullong, S.** Heat transfer in solar receiver heat exchanger with combined punched V–ribs and chamfer–V–grooves. Int J Heat Mass Transfer;– 2019–143:118486.

3 **Li, X., Xie, G., Liu, J., Sunden, B.** Parametric study on flow characteristics and heat transfer in rectangular channels with strip slits in ribs on one wall. Int J Heat Mass Trans.– 2020– 149:118396

4 **Salhi, J. E., Amghar, K., Bouali, H., Salhi, N.** Combined heat and mass transfer of fluid flowing through horizontal channel by turbulent forced convection. Model Simul Eng.–2020–1453893:1–11.

5 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Tian, Z., Goodarzi, M., Bandarra, E. P., Arjomandi, M.** (2019) Thermal assessment of nano–particulate graphene–water/ethylene glycol nano–suspension in a compact heat exchanger. Energies.–2019–12:1929.

6 **Promvonge, P., Skullong, S.** Enhanced Heat Transfer in Rectangular Duct with Punched Winglets, Chinese J Chem Eng.– 2020– 28:660–71.

7 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Goodarzi, M., Yang, B., Arjomandi, M.** Heat transfer analysis of Ga–In–Sn in a compact heat exchanger equipped with straight micro–passages. Int J Heat Mass Transf .–2019– 139:675–684.

8 **Sugirov, D. U.** Heat transfer in a bundle of smooth pipes when exposed to several types of heat transfer intensification. [Collection of materials of the VII International scientific and practical conference]. –2020– P.34–40.

9 **Sugirov, D. U., Ospanova, S. M., Suimenova, S. M., Izbasar, A. I., Esbolai, G. I.** Improving the thermal efficiency of convective heating surfaces. [The World of Science]– Online edition.–2021– 69p. Access mode: <https://izd-mn.com/PDF/23MNNPM21.pdf>

10 **Borodenko, V. A.** Programming in the Turbo Basic environment (textbook). – Pavlodar : Kereku.– 2003 – 81 p.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*Д. У. Сугиров<sup>1</sup>, К. Ш. Ержанов<sup>2</sup>, Н. А. Жайылхан<sup>3</sup>, М. К. Суйменова<sup>4</sup>,  
К. М. Шайхиева<sup>5</sup>,

<sup>1,2,3,4,5</sup>Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Қазақстан Республикасы, Ақтау қ.  
Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## ТЕГІС ҚҰБЫРЛАР ШОҒЫРЫНДА КОНВЕКТИВТІ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЖОҒАРЫЛАТУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ

*Бұл мақаланың мақсаты жылу беруді қарқындатудың қолданыстағы әдістеріне шолу және жапырақты турбулизаторларды қолдану кезінде тиімділікті арттырудың математикалық моделін зерттеу болып табылады. Себебі, бұл турбулизаторларды ағынды каналға енгізу, бұл өндіріс, пайдалану жеңілдігі, сондай–ақ төмен пайдалану және өндірістік шығындар сияқты артықшылықтарына байланысты жылу беруді арттырудың ең жақсы әдістерінің бірі. Бұл шолуда соңғы онжылдықта кеңінен зерттелген жылу беруді қарқындандырудың пассивті және белсенді әдістері бар. Ол үшін шетелдік авторлардың ең жаңа жұмыстары мен зерттеулері пайдаланылды, олар егжей–тегжейлі талданды және қорытындыланды. Сондай–ақ, бұл жұмыста модельдеу нәтижелері эксперименттік қондырғыда тексерілген жапырақты*



турбулизаторларды қолдану кезінде тегіс құбырлар жиынтығындағы конвективті қыздыру беттерінің жылу тиімділігін арттырудың математикалық моделі зерттеледі. Жылу алмастырғыш жүйелерінің жылу сипаттамаларын жоғарылату мұнай мен көмір бағасының тез өсуіне байланысты энергия көзін тиімді пайдалану үшін қажет. Бұл мақаланың өзектілігі жоғары өнімді жылу жүйелерінің дамуы жылу беруді арттыруға деген қызығушылықты арттырды. Атап айтқанда, белгілі бір экономикалық оқиғалар қолданыстағы қазандықтар мен ЖЭО-ны пайдалану және жаңғырту деңгейінің төмендеуіне, атап айтқанда жылу энергиясын өнеркәсіптік тұтырудың осы қарқынының баяулауына, экологиялық қауіпсіздікке, жылумен жабдықтаудың сенімділігі мен сапасына қойылатын талаптардың жоғарылауына, қолданыстағы және жаңа жылумен жабдықтау көздерінің өз отындары үшін қайта бағдарлануына, сондай-ақ күрт төмендеуіне әкеледі. жылумен жабдықтау объектілерін орталықтандырылған ұлттық қаржыландыру көлемі. Сондай-ақ, бұл жұмыста модельдеу нәтижелері эксперименттік қондырғыда тексерілген жапырақты турбулизаторларды қолдану кезінде тегіс құбырлар жиынтығындағы конвективті қыздыру беттерінің жылу тиімділігін арттырудың математикалық моделі зерттеледі.

Кілтті сөздер: турбулизация, жылу қазандықтары, жылу алмасудың жоғарылауы, ағынның үйкелісі, бұралған ағын.

\*D. U. Sugirov<sup>1</sup>, M. K. Suimenova<sup>2</sup>, K. S. Yerzhanov<sup>3</sup>, K. M. Shaikhieva<sup>4</sup>,  
N. A. Zhayilkhan<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Caspian University of Technology and Engineering named  
after Sh. Yesenova, Kazakhstan, Aktau  
Material received on 15.12.22

## DRAWING UP A MATHEMATICAL MODEL OF INCREASING CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN A BUNDLE OF SMOOTH PIPES

*The purpose of this article is to review the existing methods of heat transfer intensification, and to study the mathematical model of increasing efficiency when using lobe turbulators. Since it is the introduction of turbulators into the flow channel that is one of the best methods of increasing heat exchange due to their advantages such as ease of manufacture, operation, as well as low operating and production costs. This review contains both passive and active methods of heat exchange intensification that have been extensively studied over the past decade. For*

*this purpose, the newest works and studies of mainly foreign authors were used, their detailed analysis was carried out and the results were summed up. Also, in this work, a mathematical model of increasing the thermal efficiency of convective heating surfaces in a bundle of smooth pipes with the use of lobe turbulators is investigated, the simulation results of which were tested on an experimental installation. Increasing the thermal characteristics of heat exchanger systems is necessary for the efficient use of an energy source, due to the rapid rise in oil and coal prices. The relevance of this article is that the development of high-performance thermal systems has increased interest in increasing heat transfer. In particular, certain economic events lead to the fact that the level of operation and modernization of existing boilers and thermal power plants is decreasing, in particular, the growth rate of industrial consumption of thermal energy is slowing down, there are increased requirements for environmental safety, reliability and quality of heat supply, there is a reorientation of existing and new sources of heat supply for their own fuels, as well as a sharp reduction the volume of centralized national financing of heat supply facilities. Also, in this work, a mathematical model of increasing the thermal efficiency of convective heating surfaces in a bundle of smooth pipes with the use of lobe turbulators is investigated, the simulation results of which were tested on an experimental installation.*

*Keywords: turbulence, heat boilers, increased heat transfer, flow friction, swirling flow.*

\*С. Е. Тасанбаев<sup>1</sup>, К. Е. Арыстанбаев<sup>2</sup>, Б. Т. Макажанов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Евразийский Национальный Университет имени

Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup>Южно-Казахстанская медицинская академия,

Республика Казахстан, г. Шымкент

<sup>3</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова,

Республика Казахстан, г. Шымкент

## ОСТОРОЖНЫЙ АЛГОРИТМ КОМПЕНСАЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

*Рассматривается задача оптимального стохастического управления объектом в условиях неполной информации. Предложен алгоритм, проявляющий осторожность в зависимости от вероятностных характеристик оценок параметров модели объекта и учитывающий возникновение порога неопределенности. Возникновение порога неопределенности исследуется для практически важной задачи компенсации возмущений. В работе приведена постановка задачи, где приведена задача стабилизации выходного сигнала от влияния наблюдаемых возмущающих воздействий. Предложен алгоритм учитывающий неопределенность описываемой матрицы, исходя из требуемого качества управления. В статье рассмотрен скалярный пример компенсации возмущения, который подробно расписан. Используя принцип достоверности эквивалентности в работе сравнивались характеристики алгоритма с работой алгоритма. Нахождение управляющего воздействия в «противофазе» действующему возмущению обеспечивает модифицированный закон управления, в котором управляющее воздействие было направлено на компенсацию возмущений при возникающих соотношениях параметров модели. Приведены результаты имитационного моделирования разработанного алгоритма. Наглядно показано сравнение метода имитационного моделирования разработанного алгоритма с достоверно эквивалентным алгоритмом. В работе моделирование предложенного алгоритма производилось в условиях,*

*при которых соотношения между априорными параметрами модели приводили к превышению порога неопределенности, а для достоверно эквивалентного алгоритма эта информация не учитывалась.*

*Ключевые слова: Управление, алгоритм, моделирование, оптимизация, возмущающие воздействия.*

### Введение

Развитая применительно к задачам стохастического управления при неполной информации теория дуального управления [1], а также позже [2], указывает, что целесообразно за счет эффектов предосторожности и зондирования создавать условия для поступления информации для достижения требуемого качества функционирования. При управлении динамическими системами, описываемыми моделями со случайными коэффициентами уточнение оценок невозможно, однако при синтезе управлений следует учитывать степень априорной неопределенности в знании параметров модели. Кроме того, для линейной квадратической задачи стохастического управления при определенных соотношениях между ковариациями оценок параметров модели не существует решения на бесконечном интервале при превышении порога неопределенности [3].

В настоящей работе проблема возникновения порога неопределенности исследуется для практически важной задачи компенсации возмущений. Предложен алгоритм адаптивного управления, проявляющий осторожность в зависимости от имеющихся ковариаций оценок параметров модели, и способный адаптироваться к превышению порога неопределенности. Приводятся результаты имитационного моделирования, иллюстрирующие эту способность разработанного алгоритма.

### Постановка задачи

Рассмотрим объект управления, описываемый разностным уравнением:

$$\begin{aligned}v(j+1) &= a^T(j)w(j) + b(j)u(j) + \varphi(j), \\ u(j+1) &= v(j+1), j = 1, 2, \dots\end{aligned}\tag{1}$$

Где  $u(j+1)$  наблюдаемая переменная;  $v(j+1)$  скалярная выходная переменная, наблюдаемая без помех;  $w(j)$  – вектор возмущений;  $a(j)$  – скалярное управляющее воздействие;  $b(j)$  – ненаблюдаемая помеха;  $c(j)$  – вектор размера и скалярная величина параметры модели, которые предполагаются гауссовскими и белыми (некоррелированными во времени) с средними  $\bar{a}$  и  $\bar{b}$ , соответственно, и априорными ковариациями:

$$M\{[a(j) - \bar{a}]^T [a(j) - \bar{a}]\} = \Sigma^{aa} \delta_{ij};$$

$$M\{[b(j) - \bar{b}]^2\} = \Sigma^{bb}.$$

Возможна ненулевая взаимная ковариация:

$$M\{[a(j) - \bar{a}]^T [b(j) - \bar{b}]\} = \Sigma^{ab},$$

Где  $\delta_{il}$  – символ Кронекера.

Случайные последовательности и статистически независимые друг от друга, имеют известные характеристики.

Задачей управления является стабилизация выходного сигнала от влияния наблюдаемых возмущающих воздействий.

Определим критерий качества в виде:

$$J = \frac{1}{2} M\{\sum_{k=1}^{N-1} v^2(k+1)\}, \quad (2)$$

Где  $M$  – символ операции математического ожидания, а  $N$  – интервал управления, положительное целое число.

Очевидно, что, если вектор параметров и известны для всех  $j$ , то, задача минимизации (2) может быть решена стандартными средствами. Однако, обычно они не известны, в связи с чем для синтеза алгоритма управления (4) используются их текущие оценки. Вместе с тем, имеющаяся неполнота информации в соответствии с теорией дуального управления [1] должна учитываться при синтезе управлений. Ниже будет представлен алгоритм, способный, учитывая неопределенность, описываемую матрицей, проявлять осторожность исходя из требуемого качества управления.

#### Материалы и методы

Алгоритм управления.

Критерий (2) на  $k$ -ом шаге может быть записан в виде:

$$J(k) = \frac{1}{2} M\{v^2(k+1) | Y^{k-1}\} = \int v^2(k+1) p(v(k+1) | a(k), b(k), w(k), u(k), \varphi(k)) \times p(a(k), b(k), w(k), u(k), \varphi(k) | Y^{k-1}) d(a(k), b(k), w(k), u(k), \varphi(k)),$$

Где  $Y^{k-1} = [y(1), \dots, y(N-1)]^T$ . Предполагается, что плотности распределения существуют.

Принимая во внимание (2), получим:

$$J(k) = \frac{1}{2} \int [a^T(k)w(k) + b(k)u(k) + \varphi(k)]^2 p(a(k), b(k), w(k), u(k), \varphi(k) | Y^{k-1}) d(a(k), b(k), w(k), u(k), \varphi(k))$$

Поскольку случайные переменные независимы

Получим:

$$p(a(j), b(j), w(j), u(j), \varphi(j) | Y^{j-1}) = p(a(j))p(b(j))p(w(j))p(u(j))p(\varphi(j) | Y^{j-1}), 0 \leq j \leq N-1 \quad (4)$$

Условие минимума (3) запишутся в виде:

$$\frac{\partial J(k)}{\partial u(k)} = [\bar{a}w(k) + \bar{b}u(k)]\bar{b} + \Sigma^{bb}u(k) + \Sigma^{ab}w(k) = 0.$$

Решая это уравнение относительно  $u(k)$ , получим:

$$u^*(k) = -\frac{1}{\bar{b}^2 + \Sigma^{bb}} (\bar{a}\bar{b} + \Sigma^{ab})^T w(k). \quad (4)$$

Из закона (4) видим, что текущее управление зависит от наблюдаемой переменной, а также априорных ковариаций и. В случае отсутствия априорной неопределенности, т.е. и известных, закон управления приобретает вид

$$u^*(k) = -\frac{1}{\bar{b}} \bar{a}^T w(k) \quad (5)$$

И критерий достигает своего минимума ().

Оптимальное стохастическое управление (4) не является дуальным [1], поскольку вектор параметров  $a(k)$  и коэффициент  $b(k)$  предполагаются белыми (некоррелированными во времени), поэтому апостериорное обучение невозможно [4-8]. Однако оптимальная стратегия управления не должна

игнорировать факт ненулевых априорных ковариаций, чему отвечает закон (4), проявляя «осторожность» при формировании управлений, понижая их амплитуду в зависимости от ковариации.

Вместе с тем закон управления (4) имеет ограничения, связанные с определенными соотношениями между вектором параметров, коэффициентом и ковариацией. Анализ закона (4) показывает, что при определенных соотношениях, управляющее воздействие вместо компенсации внешнего возмущения по соответствующему каналу, усиливает его.

В работе [3] показано, что для линейной квадратической задачи такие соотношения, нарушение которых могут привести к неограниченному росту решения уравнения Риккати, были названы «порогом неопределенности».

Для того, чтобы управляющее воздействие было направлено на компенсацию возмущений при возникающих соотношениях параметров модели, модифицируем закон следующим образом:

$$u^*(k) = \gamma \cdot \frac{1}{b^2 + \Sigma^{ab}} (\bar{a}\bar{b} + \Sigma^{ab})^T w(k), \quad (6)$$

Где определено по формуле:

$$\gamma = \begin{cases} 1, & \text{при } \bar{a}^T \cdot (\bar{a}\bar{b} + \Sigma^{ab}) < 0 \\ -1, & \text{при } \bar{a}^T \cdot (\bar{a}\bar{b} + \Sigma^{ab}) > 0 \end{cases}$$

Такой закон управления обеспечивает нахождение управляющего воздействия в «противофазе» действующему возмущению.

### Результаты и обсуждение

Для иллюстрации разработанного алгоритма будет рассмотрен скалярный пример компенсации возмущения. Характеристики алгоритма будут сравниваться с работой алгоритма с использованием принципа достоверной эквивалентности.

Коэффициенты модели приняты:  $\bar{a} = -0,5$ ,  $\bar{b} = 0,3$ ,  $\Sigma^{ab} = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,25 \\ 0,25 & 0,25 \end{bmatrix}$  ковариационной матрицей:

Истинными значениями параметров являлись, . Внешнее возмущение и случайная последовательность в объекте предполагаются белыми с нулевыми математическими ожиданиями и дисперсиями и . Длина интервала управления принята Для сравнения методом имитационного моделирования разработанного алгоритма (4) с достоверно эквивалентным алгоритмом (5) было сделано 10 реализаций, результаты которых сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнение метода имитационного моделирования разработанного алгоритма с достоверно эквивалентным алгоритмом

Алгоритм	Средние значения критерия	Среднеквадратическое отклонение	Диапазон изменения критерия качества
Достоверно эквивалентный алгоритм	2.2903	3.0984	0.0074-10.1833
Осторожный алгоритм	0.3856	0.4732	0.0007-1.9535

Как видно из таблицы 1 эффективность алгоритма (4) значительно выше, чем у алгоритма (5), разброс значений критерия качества (2) существенно ниже, что говорит о большей его предсказуемости. Причем моделирование алгоритма (4) производилось в условиях, при которых соотношения между априорными параметрами модели приводили к превышению порога неопределенности, а для достоверно эквивалентного алгоритма эта информация не учитывалась.

На рисунке 1 приведена зависимость критерия качества для алгоритмов (4) от номера шага.

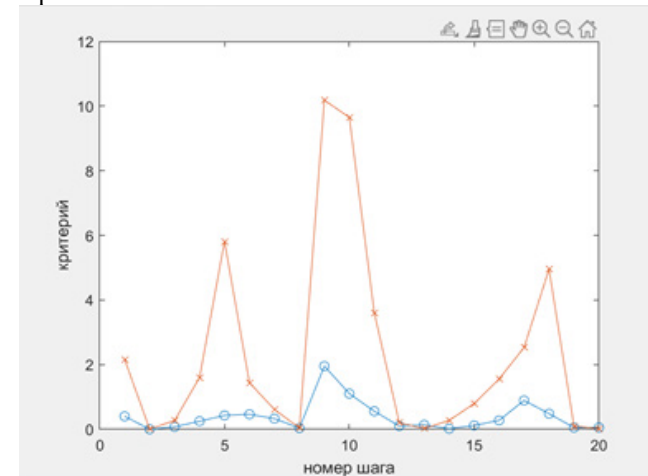


Рисунок 1 – Зависимость критерия качества от номера шага

На рисунке 1 приведены усредненные по 10 реализациям [9-11] кривые изменений критерия качества для алгоритмов (4) (маркер «x») и (6) (маркер «o»).

### Выводы

В работе исследована проблема возникновения порога неопределенности для практической значимой проблемы компенсации нарушений. Предложен

адаптивный алгоритм управления, способный адаптироваться к превышению пределов неопределенности. Приведены результаты имитационного моделирования в виде зависимости критерия качества для алгоритмов от номера шага. Сравнение кривых показывает, что при возникновении явления порога неопределенности алгоритм (б) справляется лучше с его влиянием.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Фельдбаум, А. А.** Основы теории оптимальных автоматических систем [Текст]. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. – 120 с.
- 2 **Бар-Шалом, Я., Ци, Э.** Концепции и методы стохастического управления. В кн. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах [Текст]. – М.: Мир, 1980. – 230 с.
- 3 **Athans, M. R., Ku, S. B.** The Uncertainty Threshold Principle: Some Fundamental Limitations of Optimal Decision Making under Dynamic Uncertainty. – IEEE Trans. Automat. Contr, 1977. – vol.AC-22.– P. 491–495.
- 4 **Чубич, В. М.** Активная параметрическая идентификация стохастических динамических систем на основе планирования экспериментов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 20.02.2014 / В. И. Денисов. – Новосибирск, 2013. – 247 с.
- 5 **Льюнг, Л.** Идентификация систем. Теория для пользователя [Текст]. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
- 6 **Цыпкин, Я. З.** Информационная теория идентификации [Текст]. – М.: Наука, 1995. – 336 с.
- 7 **Mehra, R. K.** Optimal Input Signals for Parameter Estimation in Dynamic Systems-Survey and New Results. – IEEE Transactions on Automatic Control, 1974 – Vol-19,6. – P. 753–768.
- 8 **Горский, В. Г., Адлер Ю. П., Талалай А. М.** Планирование промышленных экспериментов (модели динамики) [Текст]. – М.: Metallurgiya, 1978. – 112 с.
- 9 **Filatov, N. M., Unbehauen, H.** Survey of adaptive Dual Control Methods. – IEE Proc. Control Theory Appl, 2000. – Vol.147, – №1. – P.118–128.
- 10 **Lopes-Toledo, A. A.** Optimal Policies for Identification of Stochastic Linear Systems. – IEEE Trans, 2003. – AC-20 (6). – P.754-766.
- 11 **Padilla, C. S., Cruz, J. B.** Sensitivity Adaptive Feedback with Estimation Redistribution. – IEEE Transactions on Automatic Control, 1998. – Vol-AC–23,3 –P.445-451.

#### REFERENCES

- 1 **Fel'dbaum, A. A.** Osnovy teorii optimal'nyh avtomaticheskikh sistem. [Fundamentals of the theory of optimal automatic systems.][Text] –М. : Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 963. – 120 p.
- 2 **Bar-Shalom, A., Ci, E.** Konceptcii i metody stohasticheskogo upravleniya. V kn. Fil'traciya i stohasticheskoe upravlenie v dinamichestkikh sistemah. [Concepts and methods of stochastic control.][Text] – М. : Mir, 1980. – 230 p.
- 3 **Athans, M. R., Ku, S. B.** The Uncertainty Threshold Principle: Some Fundamental Limitations of Optimal Decision Making under Dynamic Uncertainty. – IEEE Trans. Contr, 1977. – vol.AC–22.– P. 491–495.
- 4 **Chubich, V. M.** Aktivnaya parametricheskaya identifikaciya stohasticheskix dinamichestkix sistem na osnove planirovaniya e`ksperimentov. [Active parametric identification of stochastic dynamical systems based on experimental planning] [Text]: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 20.02.2014 / V. I. Denisov. –Novosibirsk, 2013. –247 p.
- 5 **Ljung, L.** Identifikaciya sistem. Teoriya dlya pol'zovatelya. [Identification of systems. Theory for the user] [Text] – М. : Nauka, 1991. – 432 p.
- 6 **Цыпкин, Я. З.** Informacionnaya teoriya identifikacii. [Information theory of identification] [Text] –М. : Nauka, 1995. – 336 p.
- 7 **Mehra, R. K.** Optimal Input Signals for Parameter Estimation in Dynamic Systems-Survey and New Results. – IEEE Transactions on Automatic Control, 1974 – Vol-19,6. – P.753–768.
- 8 **Gorskij, V. G., Adler Yu. P., Talalaj A. M.** Planirovanie promy`shlenny`x e`ksperimentov (modeli dinamiki). [Planning of industrial experiments (dynamics models)] [Text] – М. :Metallurgiya, 1978. – 112 p.
- 9 **Filatov, N. M., Unbehauen, H.** Survey of adaptive Dual Control Methods. – IEE Proc. Control Theory Appl, 2000. – Vol.147, – №1. – P. 118–128.
- 10 **Lopes-Toledo, A. A.** Optimal Policies for Identification of Stochastic Linear Systems. – IEEE Trans, 2003. – AC-20 (6). – P. 754–766.
- 11 **Padilla, C. S., Cruz J. B.** Sensitivity Adaptive Feedback with Estimation Redistribution. – IEEE Transactions on Automatic Control, 1998. – Vol-AC–23,3. – P.445–451.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\*С. Е. Тасанбаев<sup>1</sup>, К. Е. Арыстанбаев<sup>2</sup>, Б. Т. Макажанов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Оңтүстік – Қазақстан медицина академиясы, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

<sup>3</sup>М. Ауэзов атындағы Оңтүстік – Қазақстан университеті,

Қазақстан Республикасы, Шымкент қ  
Материал баспаға 15.12.22 түсті.

### КЕЗДЕЙСОҚ ПАРАМЕТРЛЕРІМЕН ЖҮЙЕДЕ ҚОЗДЫРУЛАРДЫ ӨТЕУДІҢ САҚТЫҚТЫҚ АЛГОРИТМІ

Толық емес ақпарат жағдайында объектіні оңтайлы стохастикалық басқару міндеті қарастырылады. Объект моделінің параметрлерін бағалаудың ықтималдық сипаттамаларына байланысты сақтық танытатын және белгісіздік шегінің пайда болуын ескеретін алгоритм ұсынылады. Белгісіздік шегінің пайда болуы қоздырулардың өтеудің маңызды міндеті үшін зерттеледі. Жұмыста, есеп қойылымында,  $v(j+1)$  шығыс сигналын  $w(j)$  бақыланатын қоздыру әсерінен тұрақтандыру міндеті берілген. Сипатталған матрицаның белгісіздігін ескеретін алгоритм ұсынылады, қажетті басқару сапасына сүйене отырып. Мақалада толығымен сипатталған қоздыру өтеудің скалярлық мысалы қарастырылады. Эквиваленттік сенімділік принципі қолданылып отырып, жұмыс алгоритмінің сипаттамаларын алгоритмнің жұмысымен салыстырды. Басқару әсерді «қарсы фазада» қолданыстағы қоздыруды табу модификацияланған басқару заңын қамтамасыз етеді, онда басқарушылық әсер модель параметрлерінің туындайтын арақатынастарындағы бұзылудың орнын толтыруға бағытталған. Өзірленген алгоритмді модельдеу нәтижелері келтірілген. Өзірленген алгоритмді имитациялық модельдеу әдісін сенімді эквивалентті алгоритммен салыстыру көрнекі түрде көрсетілген. Жұмыста ұсынылған алгоритмді модельдеу модельдің априорлық параметрлері арасындағы қатынастар белгісіздік шегінен асып кеткен жағдайда жүргізілді, ал сенімді эквивалентті алгоритм үшін бұл ақпарат ескерілмеді.

Кілтті сөздер: Басқару, алгоритм, модельдеу, оңтайландыру, қоздыру әсерлер.

\*S. E. Tasanbayev<sup>1</sup>, K. E. Arystanbayev<sup>2</sup>, B. T. Makazhanov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>L. N. Gumilev Eurasian National University,  
Republic of Kazakhstan, Astana

<sup>2</sup>South Kazakhstan Medical Academy,  
Republic of Kazakhstan, Shymkent

<sup>3</sup>M. Auezov South Kazakhstan University,  
Republic of Kazakhstan, Shymkent

Material received on 15.12.22

### EXACT ALGORITHM FOR COMPENSATION OF DISTURBANCES A SYSTEM WITH RANDOM PARAMETERS

The problem of optimal stochastic control of an object in conditions of incomplete information is considered. An algorithm is proposed that being cautious depending on the probabilistic characteristics of the estimates of the parameters of the object model and takes into account the occurrence of the uncertainty threshold. The manifestation of the uncertainty threshold is investigated for the practically important problem of compensation of disturbances. The work shows a statement of the problem, where the problem of stabilizing the output signal from the influence of the observed disturbing influences  $w(j)$  is given. An algorithm is proposed that takes into account the uncertainty of the described matrix, based on the required quality of control. The article considers a scalar example of perturbation compensation, which is described in detail. Using the principle of equivalence reliability, the characteristics of the algorithm were compared with the operation of the algorithm. Finding the control action in «antiphraze» to the current disturbance provides a modified control law, in which the control action was aimed at compensating for disturbances in the resulting model parameter ratios. The results of simulation modeling of the developed algorithm are presented. The comparison of the simulation method of the developed algorithm with a reliably equivalent algorithm is clearly shown. The work shows, the simulation of the proposed algorithm was carried out under conditions in which the relations between the a priori parameters of the model led to an excess of the uncertainty threshold, and for a reliably equivalent algorithm, this information wasn't taken into account.

Keywords: algorithm, modeling, control, optimization, disturbing effects

[doi.org/10.48081/NCHN7970](https://doi.org/10.48081/NCHN7970)

**\*В. И. Фандюшин<sup>1</sup>, С. И. Деревягин<sup>2</sup>, Н. Н. Пудич<sup>3</sup>,  
Ю. В. Улихина<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **УСТРОЙСТВО КОРРЕКЦИИ ДЛЯ РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ.**

*В данной статье приводятся данные о том, что мартеновский способ плавки стали больше не используется, а выплавка стали в кислородных конвертерах имеет существенные недостатки по сравнению с дуговыми - плавильными агрегатами. Поэтому основная масса стали сейчас выплавляется в дуговых сталеплавильных печах и большинство научных исследований направлено на совершенствование электроплавки стали. Показано, что коэффициент полезного действия электропечи зависит от неравномерности мощностей фаз печи, а эта неравномерность достигает 30% и чтобы снизить потери энергии предлагается схема электронного устройства коррекции несимметричных режимов для типовой электромеханической системы управления мощностью дуговой сталеплавильной печи. Устройство изготовлено на основе широко распространённых интегральных микросхем серии K553 и предназначено для каждой фазы печи. Устройство формирует корректирующий сигнал для заданной фазы регулятора мощности и позволяет снизить неравномерность распределения мощностей дуг по фазам печи. Принцип работы устройства основан на методе компенсации различных сопротивлений фаз вторичного токоподвода дуговой сталеплавильной печи путём ввода в регулятор мощности сигнала коррекции. Показано, что такая модернизация дуговой электропечи проста и эффективна.*

*Ключевые слова: автоматизированные системы управления, дуговые сталеплавильные печи, интегральные микросхемы, несимметричные режимы печи, энергоэффективность.*

### **Введение**

По инициативе правительства республики Казахстан в стране принята и утверждена программа «Цифровой Казахстан». Аналогичные программы действуют практически во всех передовых странах, причём каждая страна выделяет одно или несколько направлений развития, согласно такой программе. В Казахстане выбрано пять направлений и одним из них является модернизация энергетики и промышленности с помощью новейших технологий.

Павлодарская область насыщена энергетическими и промышленными предприятиями, среди которых много металлургических предприятий с не малым парком дуговых сталеплавильных печей (ДСП). Мировой опыт показывает, что происходит ежегодное увеличение выплавки стали и выплавки именно в дуговых печах, так как мартеновский способ выплавки и плавка стали в кислородных конвертерах стали не конкурентно способны из-за отрицательного влияния на экологию и из-за большей себестоимости в производстве стали [1]. Мартеновские печи сейчас это уже история, такие печи больше не строят, например, в России последнюю плавку в такой печи провели в марте 2018 года. Поэтому тенденция увеличения количества дуговых сталеплавильных печей будет только нарастать, так как другого более эффективного способа плавки стали пока не найдено [2]. Именно поэтому для экономии ресурсов огромное значение имеет усовершенствование и модернизация дуговых электропечей, которые, наравне с электролизным производством, являются главными и самыми мощными потребителями электроэнергии в Павлодарской области.

### **Материалы и методы**

Одним из методов повышения энергоэффективности ДСП является снижение несимметричных режимов работы таких печей. Несимметрия мощности электрических дуг может достигать 30%, что повышает расход электроэнергии из-за неравномерного выделения мощности дуговых разрядов.

Так как система питающих напряжений трёхфазная, то и печь, работающая на переменном напряжении, содержит три электрода. Самый оптимальный режим печи бывает тогда, когда мощность всех трёх электрических дуг одинакова. Но на практике это не достижимо, так как из-за явлений взаимной индукции сопротивление фазных токоподводов к электродам не одинаково по фазам и постоянно меняется. Невозможно выполнить идентичными токоподводы от печного трансформатора к электродам печи и кроме того, электроды вместе с токопроводами большую часть плавки находятся в движении. Спокойный режим, когда электроды почти не двигаются, бывает только в металлургические периоды плавки, это

такие режимы, когда ванна жидкого металла уже сформирована. Но такой спокойный режим длится менее половины времени всей плавки, в остальное время, когда плавится металлический лом, электроды находятся в постоянном движении и токи электрических дуг меняются от максимального и до нуля.

Ещё одним отрицательным фактором несимметрии является повышенный износ футеровки печи, что приводит к незапланированным ремонтам и простою печей в это время. Это явление связано с понятием «дикая фаза», таким термином называют ту фазу, где ток максимальный. Естественно, что футеровка печи напротив электрической дуги этой фазы выгорает наиболее интенсивно.

Важно упомянуть ещё один вредный фактор несимметрии, который заключается в отрицательном воздействии несимметричных режимов на все потребители энергосистемы.

Ещё в прошлом веке был предложен способ компенсации несимметричных режимов ДСП [3]. Этот метод основан на компенсации различий в сопротивлениях фаз вторичного токоподвода печи, путем выработки корректирующего сигнала для автоматического дифференциального регулятора мощности ДСП. Суть метода в том, что в систему управления вносится корректирующий сигнал, учитывающий изменение тока фаз. Известно, что сигнал задания в таком регуляторе формируется на основе уравнения [4]:

$$\Delta U = a(U_0 - C) - b(I_0 - I_3), \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – весовые коэффициенты;

$C$  – постоянная величина, определяемая номинальным вторичным напряжением печного трансформатора;

$U_0$  – напряжение на соответствующем электроде;

$I_0$  – дуговой ток соответствующего электрода;

$I_3$  – ток дуги, заданный условиями плавки.

Данное уравнение можно записать в упрощённом виде:

$$\Delta U = aU - bI. \quad (2)$$

И для этого упрощённого уравнения, введя поправочные коэффициенты, можно получить окончательное уравнение, описывающее сигнал задания для регулятора мощности ДСП с коррекцией несимметрии вторичного токоподвода:

$$\Delta U = a(U_0 + \beta I_0 Z_{kc}) - bI, \quad (3)$$

где  $\beta$  – весовой коэффициент, зависящий от максимального тока электрода и колебаний напряжения сети, определяется опытным путём и обычно находится в диапазоне 0,5 - 0,85;

$Z_{kc}$  – величина, равная полному сопротивлению части короткой сети, от дуги до места, где подключен датчик напряжения.

Весовой коэффициент  $\beta$ , определяется для каждой печи отдельно и зависит от конструкции печи и от электрических параметров печи и печного трансформатора. Он определяется за две или три плавки, путём измерения мощностей дуг с помощью самопишущих приборов и дальнейшего определения степени несимметрии. Коэффициент, соответствующий минимальной несимметрии считается самым оптимальным.

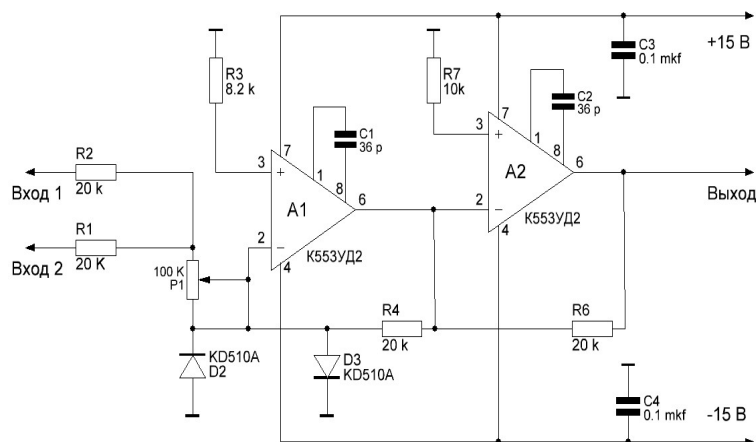
#### Результаты и обсуждение

На реальных печных установках датчик напряжения подключен к так называемым неподвижным башмакам короткой сети [5]. Короткая сеть это вторичный токоподвод печи, включающий в себя вторичную обмотку трансформатора, участок шинного пакета, который ещё называют трубошинами и участок гибких кабелей. При таком способе подключения датчика напряжения компенсируется разность индуктивных сопротивлений только участков трубошин и вторичной обмотки трансформатора, в то время как наиболее важный участок гибких кабелей не участвует в создании корректирующего сигнала [6]. Это объясняется надёжностью работы печи, но гибкие кабели с водяным охлаждением находятся в постоянном движении и аварийной ситуации не возникает, поэтому можно предположить, что и провода от датчика напряжения тоже не будут повреждены.

Было проведено моделирование работы устройства коррекции при разных способах подключения датчика напряжения. Расчёты показали, что при подключённом датчике напряжения к неподвижным башмакам, коэффициент износа футеровки снижался на 27,7%, а несимметричные режимы уменьшались на 7%. А если датчик напряжения был подключен к подвижным башмакам, то результаты моделирования были следующие: коэффициент износа футеровки снижался на 32,4%, а несимметричные режимы уменьшались на 10,2%. Отсюда следует вывод, что даже простое изменение места подключения датчика напряжения позволяет повысить эффективность работы дуговых сталеплавильных печей. Естественно, только надо решить вопрос надёжности, т.е. использовать более прочный и гибкий многожильный кабель для подключения датчиков.



На рисунке 1 представлена схема устройства коррекции несимметричных режимов для одной фазы регулятора мощности дуговой сталеплавильной печи. Такая схема разработана для электромеханического регулятора мощности и не подходит для гидравлических регуляторов. Хотя, сама идея компенсации сопротивлений фаз универсальна и может быть применена на любых дуговых сталеплавильных печах.



Устройство разработано на основе интегральных микросхем серии K553 [7].

Рисунок 1 – Схема электронного корректирующего устройства

На вход 1 подаётся сигнал, пропорциональный напряжению сети, на вход 2 подаётся сигнал, пропорциональный току дуги. Потенциометр P1 предназначен для подбора коэффициента. С помощью диодов D2 и D3 гасятся всплески дифференциальных сигналов, которые возникают от переходных процессов между входами микросхем. Устройству необходим стабилизированный источник питания, выдающий плюс 15 вольт и минус 15 вольт. Конденсаторы C3 и C4 это обыкновенные фильтры, то есть убирают высокочастотные помехи по цепям питания. Элементы R3, R7 и C1, C2 нужны для нормальной работы интегральных микросхем.

#### Выводы

Введение в систему управления корректирующего устройства позволяет снизить степень несимметрии электрического режима работы дуговой сталеплавильной печи. Что снижает расход электроэнергии, уменьшает время

простая печи из-за непредвиденного ремонта футеровки и благоприятно влияет на все потребители энергосистемы.

Новейшие системы автоматического регулирования (САР) мощности дуговых сталеплавильных печей работают с цифровыми управляющими сигналами и используют в своём составе всевозможные микроконтроллеры. В таком случае можно обойтись без корректирующего устройства, так как аналогичную задачу можно решить перепрограммированием контроллера, хотя сам способ компенсации изменений сопротивлений фаз печи остаётся неизменным. Применение микроконтроллеров позволяет значительно наращивать возможности и функциональность САР. Например, можно реализовать САР с элементами адаптации к флуктуациям тока дуги или реализовать любой принцип регулирования мощности, например, дифференциальный или токовый, а можно и объединить оба принципа регулирования, если это необходимо.

Отказ от использования аналоговых и дискретных компонентов в САР ДСП и применение микропроцессорной техники вместо них позволяет уменьшить стоимость таких систем при минимальном техническом обслуживании и приемлемой скорости и точности регулирования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Гудим, Ю. А., Зинуров, И. Ю., Киселев, А. Д. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы [Текст]. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – 547 с.
- 2 Воскобойников, В. Г., Кудрин, В. А., Якушев, А. М. Общая металлургия [Текст]. – М. : Академкнига 2005. – 768 с.
- 3 Рубцов, В. П., Фандюшин, В. И. Устройство автоматического регулирования мощности дуговой электропечи. Авторское свидетельство СССР № 1713126 БИ № 6 [Текст]. – 1992. – 2 с.
- 4 Ананьев, М. Н., Матисон, А. Г., Седойкин, Н. Я. Автоматический регулятор АРДМТ-2 для дуговых сталеплавильных печей. Электротехническая промышленность. Серия Электротермия. ВНИИЭТО [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 1982. с. 10–11.
- 5 Меркер, Э. Э., Кочетов, А. И., Харламов, Д. А. Энергосбережение при выплавке стали в дуговых печах. Учебное пособие [Текст]. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 296 с.
- 6 Лапшин, И. В. Автоматизация дуговых печей. [Текст]. – М. : Издательство МГУ, 2004. – 165 с.

7 **Изьорова, Г. И., Королёв, Г. И., Терехов, В. А.** Расчёт электронных схем. Примеры и задачи: Учебное пособие для вузов по специальности электронная техника [Текст]. – М. : Высшая школа, 1987. – 355 с.

8 **Рощин, В. Е., Рощин, А. В.** Электрометаллургия и металлургия стали [Текст]. – Челябинск : ЮурГУ, 2013. – 572 с.

9 **Рябов, А. В., Чуманов, И. В.** Современные способы выплавки стали в дуговых печах. [Текст]. – М. : Теплотехник, 2007 – 192 с.

10 **Лапшин, И. В.** Автоматизация производства электростали. Автоматизация дуговых сталеплавильных процессов [Текст]. – М. : Издательство МИСиС, 2001. – 65 с.

#### REFERENCES

1 **Gudim, Yu. A., Zinurov, I. Yu., Kiselev, A. D.** Production of steel in arc furnaces. Designs, technology, materials [Proizvodstvo stali v dugovykh pechakh. Konstruktsii, tekhnologiya, materialy] [Text]. – Novosibirsk : NSTU, 2010. – 547 p.

2 **Voskoboynikov, V. G., Kudrin, V. A., Yakushev, A. M.** General metallurgy [Obshchaya metallurgiya] [Text]. – Moscow : Akademkniga 2005. – 768 p.

3 **Rubtsov, V. P., Fandyushin, V. I.** Device for automatic power control of an electric arc furnace. Author's certificate of the USSR No. 1713126 BI No. 6 [Ustroystvo avtomaticheskogo regulirovaniya moshchnosti dugovoy elektropechi. Avtorskoye svidetel'stvo SSSR № 1713126 BI № 6] [Text]. – 1992. – 2 p.

4 **Ananiev, M. N., Matison, A. G., Sedoykin, N. Ya.** Automatic controller ARDMT-2 for arc steel-smelting furnaces. Electrical industry. Series Electrothermy. VNIIEТО [Avtomaticheskii regulyator ARDMT-2 dlya dugovykh staleplavil'nykh pechey. Elektrotekhnicheskaya promyshlennost'. Seriya Elektrotermiya. VNIIEТО] [Text]. – Moscow : Energoatomizdat, 1982. P. 10–11.

5 **Merker, E. E., Kochetov, A. I., Kharlamov, D. A.** Energy saving during steel smelting in arc furnaces. Tutorial [Energoberezheniye pri vyplavke stali v dugovykh pechakh. Uchebnoye posobiye] [Text]. – Stary Oskol: TNT, 2009. – 296 p.

6 **Lapshin, I. V.** Automation of arc furnaces [Avtomatizatsiya dugovykh pechey] [Text]. – Moscow : Publishing house of Moscow State University, 2004. – 165 p.

7 **Izyurova, G. I., Korolev, G. I., Terekhov, V. A.** Calculation of electronic circuits. Examples and tasks: Textbook for universities in the specialty of electronic engineering [Raschot elektronnykh skhem. Primery i zadachi: Uchebnoye posobiye dlya vuzov po spetsial'nosti elektronnaya tekhnika] [Text]. – Moscow : Higher school, 1987. – 355 p.

8 **Roshchin, V. E., Roshchin, A. V.** Electrometallurgy and steel metallurgy [Elektrometallurgiya i metallurgiya stali] [Text]. – Chelyabinsk : SUSU, 2013. – 572 p.

9 **Ryabov, A. V., Chumanov, I. V.** Modern methods of steel smelting in arc furnaces [Sovremennyye sposoby vyplavki stali v dugovykh pechakh] [Text]. – Moscow : Teplotekhnik, 2007 – 192 p.

10 **Lapshin, I. V.** Automation of electric steel production. Automation of arc steelmaking processes [Avtomatizatsiya proizvodstva elektrostali. Avtomatizatsiya dugovykh staleplavil'nykh protsessov] [Text]. – Moscow : MISiS Publishing House, 2001. – 65 p.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

\**В. И. Фандюшин<sup>1</sup>, С. И. Деревягин<sup>2</sup>, Н. Н. Пудич<sup>3</sup>, Ю. В. Улихина<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

#### ДОҒАЛЫ БОЛАТ БАЛҚЫТУ ПЕШІНІҢ ҚУАТ РЕТТЕГІШІНЕ АРНАЛҒАН ТҮЗЕТУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ.

*Бұл мақалада болатты балқытудың ашық әдісі енді қолданылмайды, ал болатты оттегі түрлендіргіштерінде балқыту доғалық балқыту қондырғыларымен салыстырғанда айтарлықтай кемшіліктерге ие екендігі туралы мәліметтер келтірілген. Сондықтан болаттың негізгі бөлігі қазір доғалы болат балқытатын пештерде ериді және көптеген ғылыми зерттеулер Болаттың электрлік балқымасын жақсартуға бағытталған. Электр пешінің тиімділігі пештің фазалық қуатының біркелкі еместігіне байланысты және бұл біркелкі емес 30 % – ға жетеді және энергия шығынын азайту үшін доғалы болат балқыту пешінің қуатын басқарудың типтік электромеханикалық жүйесі үшін асимметриялық режимдерді электронды түзету құрылғысының схемасы ұсынылады. Құрылғы кең таралған k553 сериялы интегралды схемаларға негізделген және пештің әр фазасына арналған. Құрылғы Қуат реттегішінің берілген фазасы үшін түзету сигналын қалыптастырады және доғалардың қуатын пештің фазалары бойынша біркелкі емес бөлуді азайтуға мүмкіндік береді. Құрылғының жұмыс принципі қуат реттегішіне түзету сигналын енгізу арқылы доғалы болат балқыту пешінің екінші ток өткізгіштігінің әртүрлі фазалық кедергісін өтеу әдісіне негізделген. Мұндай доғалық электр пешін жақсарту қарапайым және тиімді екендігі көрсетілген.*

*Кілтті сөздер: автоматтандырылған басқару жүйелері, догалы болат балқыту пештері, Интегралды микросхемалар, пештің асимметриялық режимдері, энергия тиімділігі.*

\*V. I. Fandyushin<sup>1</sup>, S. I. Derevyagin<sup>2</sup>, N. N. Pudich<sup>3</sup>, Yu. V. Ulikhina<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar  
Material received on 15.12.22

## **CORRECTION DEVICE FOR POWER REGULATOR OF ARC STEEL-SMELTING FURNACE**

*This article provides data that the open-hearth method of steel smelting is no longer used, and steel smelting in oxygen converters has significant drawbacks compared to arc - melting units. Therefore, the bulk of steel is now smelted in arc steel-smelting furnaces, and most scientific research is aimed at improving the electric smelting of steel. It is shown that the efficiency of the electric furnace depends on the uneven power of the phases of the furnace, and this unevenness reaches 30 %, and in order to reduce energy losses, an electronic device for correcting asymmetric modes for a typical electromechanical system for controlling the power of an arc steel-smelting furnace is proposed. The device is made on the basis of widely used K553 series integrated circuits and is designed for each phase of the furnace. The device generates a corrective signal for a given phase of the power controller and makes it possible to reduce the uneven distribution of arc powers over the phases of the furnace. The principle of operation of the device is based on the method of compensating for various resistances of the phases of the secondary current supply of an arc steel-smelting furnace by introducing a correction signal into the power controller. It is shown that such modernization of an electric arc furnace is simple and effective.*

*Keywords: automated control systems, steel-smelting arc furnaces, integrated circuits, asymmetric furnace modes, energy efficiency.*

МРНТИ 44.39.29

[doi.org/10.48081/BOAZ8242](https://doi.org/10.48081/BOAZ8242)

**\*В. Ф. Хацевский<sup>1</sup>, Т. В. Гоненко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар  
<sup>2</sup>Омский государственный технический университет,  
Российская Федерация, г. Омск

## **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЖАТОГО АЗОТА**

*В работе представлены исследования перспективности и эффективности применения современных систем автоматизации в технологических процессах производства инертных газов на промышленных предприятиях Республики Казахстан в качестве источников пневматической энергии, вспомогательных элементов передачи сыпучих веществ, продувочных веществ технологических аппаратов и в качестве газов носителей. Анализируется эффективность системы автоматизации технологического процесса производства сжатого азота, который является кровеносной системой любого химического и нефтехимического предприятия. Важной отличительной особенностью является то, что от количества и стабильности его поступления зависит безаварийность работы, количество и качество выпускаемой продукции химических и нефтехимических предприятий.*

*Доказана высокая функциональность системы управления технологическим процессом, заключающаяся в использовании трехуровневой программно-аппаратной платформы: полевого уровня автоматизации, программируемого логического контроллера и автоматизированного рабочего места с установкой на нем SKADA-системы.*

*Внедрение предложенной современной системы автоматизации в технологические процессы производства сжиженного азота на промышленных предприятиях приведет к повышению безопасности его производства, уменьшению затрат на производство важного в народном хозяйстве технологического продукта, который повысит*

*качество выпускаемой продукции химических и нефтехимических предприятий Республики Казахстан.*

*Ключевые слова: автоматизированная система управления, технологический процесс, контроллер, временная диаграмма, переходная характеристика.*

### **Введение**

В современной химической и нефтехимической промышленности для ведения технологических процессов используются в больших количествах инертные газы, основные из них – это азот, кислород и воздух. Они применяются в качестве источников пневматической энергии, вспомогательных элементов передачи сыпучих веществ, продувочных веществ технологических аппаратов и в качестве газов носителей [1]. Данные инертные газы, передаваемые по трубопроводам, по сути, являются кровеносной системой любого химического и нефтехимического предприятия, от их количества и стабильности поступления зависит безаварийность работы, количество и качество выпускаемой продукции химических и нефтехимических предприятий.

В данной статье исследуется перспективность и эффективность применения современных систем автоматизации в технологических процессах производства сжиженного азота с использованием трехуровневой программно-аппаратной платформы: полевого уровня автоматизации, программируемого логического контроллера и автоматизированного рабочего места с установкой на нем SKADA-системы.

### **Материалы и методы**

Для получения наиболее высоких результатов своей деятельности предприятиям необходимо переходить на автоматизацию технологических процессов. Сегодня под автоматизацией понимают процесс развития машинного производства, где ранее выполняемые функции человека, передаются приборам и автоматическим устройствам [2, 3].

При исследовании автоматизации технологического процесса производства сжатого азота объектом исследования являются блок разделения воздуха и компрессор сжатия азота. Азотный компрессор предназначен для сжатия азота очень высокой чистоты, а также дальнейшей его подачи в цеха предприятия [4, 9].

Азотный компрессор применяется в самых различных сферах деятельности человека, существенно упрощая многие задачи и оберегая людей от непредвиденных ситуаций, способных привести к печальным последствиям.

Например, в химическом производстве - используется в емкостях, где хранятся химические вещества, которые вступают в активную фазу с кислородом или являющиеся огнеопасными, в нефтегазовой отрасли основная цель использования - создание инертной среды в магистральных емкостях для хранения продуктов нефтепереработки и обеспечение полной пожаробезопасности.

Схема автоматизации производства сжатого азота отображает в общем виде основные решения проекта по функциональной, организационной и технической структурам автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) с соблюдением иерархии системы и взаимосвязей между пунктами контроля и управления, оперативным персоналом и технологическим объектом управления.

Принятые при выполнении структурной схемы принципы организации оперативного управления технологическим объектом, состав и обозначения отдельных элементов структурной схемы должны сохраняться во всех проектных документах на АСУ ТП, в которых они конкретизируются и детализируются в функциональных схемах автоматизации, структурной схеме комплекса технических средств (КТС) системы, принципиальных схемах контроля и управления.

Автоматизированная система управления производства сжатого азота реализуется с помощью трехуровневой программно-аппаратной платформы, представленной на рисунке 1 [2, 5, 6].

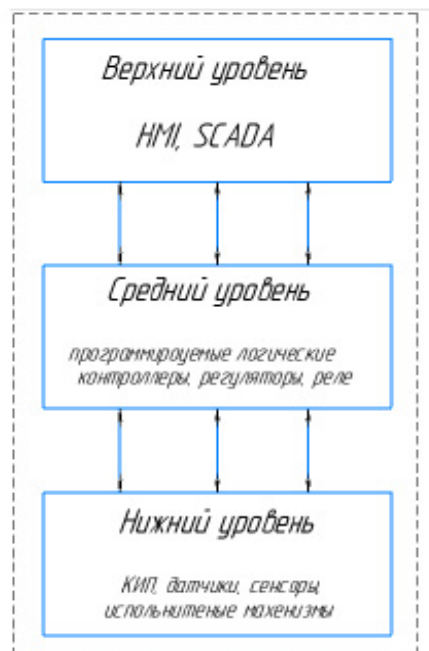


Рисунок 1 – Уровни АСУ ТП

Первым уровнем является полевой уровень автоматизации, датчики, установленные непосредственно на объекте управления выдают сигналы, которые преобразовываются вторичными преобразователями и посылаются в контроллер.

Вторым уровнем является программируемый логический контроллер. Здесь происходит обработка сигналов, приходящих с первого уровня и выдача сигналов управления обратно на первый уровень на исполнительные механизмы [10].

Третьим уровнем является автоматизированное рабочее место, с установленной на нем SCADA-системой. Контроллер передает информацию на АРМ, где оператор через человеко-машинный интерфейс в виде SCADA-системы получает информацию о ходе технологического процесса и может вручную управлять его параметрами [8, 9, 10].

#### Результаты и обсуждение

Рассматриваемая автоматизированная система имеет 48 аналоговых сигналов, поступающих в автоматизированную систему, а также 24

выходных аналоговых сигналов, поступающих на клапана и исполнительные механизмы, и 4 дискретных выходных сигнала.

В результате выполненных исследований на технологическом оборудовании получен массив данных, состоящий из 2000 значений входного параметра (расход азота, м<sup>3</sup>/час) и 2000 значений выходного параметра (давление азота, кгс/см<sup>2</sup>). Интервал дискретизации (промежутки времени, через которые производились измерения входных и выходных величин),  $t_s$  равен 3 секунды [7].

Для технологического объекта управления необходимо использовать лишь часть исходных данных, в объеме 100 измерений. Не нарушая единства рассуждений, были выбраны из массива данных значения входных и соответствующих им выходных параметров с номерами от 301 до 400.

Автоматически созданный отчет свидетельствует, что файл содержит результаты 100 измерений с интервалом дискретизации 3 с. Входными переменными является массив значений  $u_1$ , а выходным параметром –  $y_1$ . Временные диаграммы изменения входного и выходного сигналов (расхода и давления, соответственно) приведены на рисунке 2. наблюдения 300 с, приведены результаты 100 экспериментов с шагом дискретизации 3 с.

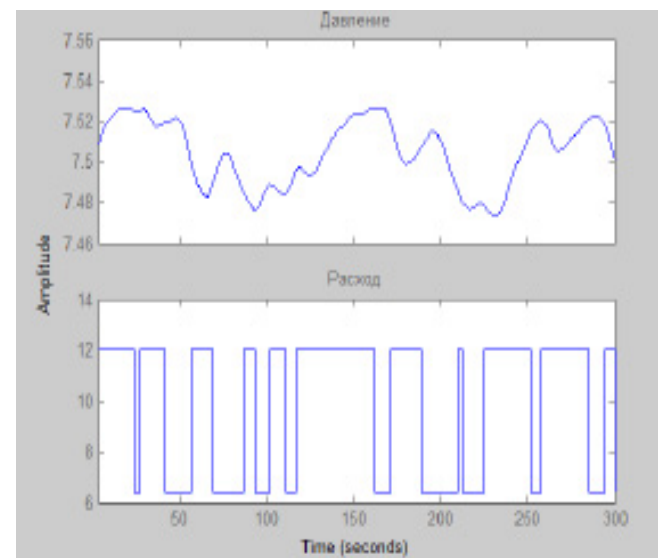


Рисунок 2 – Временные диаграммы входного и выходного сигналов, построенные в пакете Simulink

Для проверки полученных результатов синтеза регулятора системы построен график переходной характеристики процесса, приведенный на рисунке 3, и определены значения показателей качества, введя значения настроек каналов регулятора.

Рассчитанная АСР удовлетворяет требуемым показателям качества работы: динамическая ошибка и время регулирования не превышает заданных (допустимых) значений. Статическая ошибка регулирования при исследовании регулятора отсутствует.

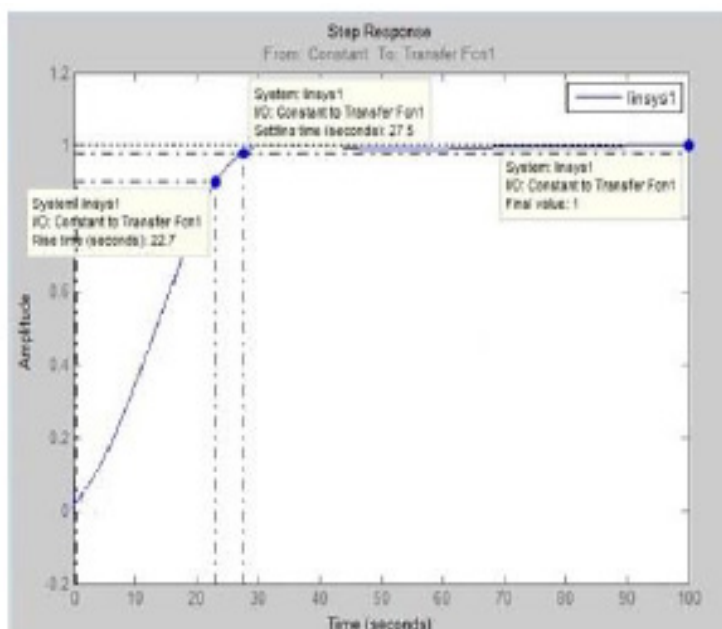


Рисунок 3 – Переходная характеристика системы с настроенным регулятором

На основе анализа переходных характеристик объекта управления был выбран наиболее подходящий для данного переходного процесса регулятор.

### Выводы

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что предложенная система автоматизации технологического процесса производства сжатого азота на промышленных предприятиях доказала ее высокую функциональность, она заключается в использовании трехуровневой программно-аппаратной

платформы: полевого уровня автоматизации, программируемого логического контроллера и автоматизированного рабочего места с установкой на нем SKADA-системы.

Внедрение системы автоматизации приведет к повышению безопасности производства, уменьшению затрат на выпуск важного в народном хозяйстве технологического продукта, который повысит качество выпускаемой продукции химических и нефтехимических предприятий Республики Казахстан.

Развитие этого направления автоматизации является важной задачей для решения проблем с точки зрения экономики, надежности и безопасности эксплуатации оборудования химической и нефтехимической промышленности.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Хомченко, В. Г., Гоненко Т. В., Пешко М. С. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами : Учебное пособие, – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2020 – 242 с.
- 2 Волович, Г. И. Роль АСУ ТП в производстве. 2-е изд., испр. – М. : «Додэка-XXI», – 2017. – 428 с.
- 3 Лисицын, А. Н. Проектирование автоматизированных систем // Инновационные технологии в науке и образовании: Сборник статей V Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2019. – С. 36–42.
- 4 Тугов, В. В., Сергеев А. И., Шаров Н. С. Проектирование автоматизированных систем управления : Учебн. Пособие. – изд-во «Лань», – 2019. – 172с.
- 5 Попель, О. С. Перспективы развития производства инертных газов // Энергия: экономика, техника, экология. – 2015. – № 3. – С. 6–11.
- 6 Грахов, Ю. В. Матвеевко, О. В. Соломин, Е. В. Программно-математическая модель технологического процесса // Материалы V МНПК «Возобновляемые источники энергии. Ресурсы» - М. : – 2018. С. 41– 42.
- 7 Николаев, В. Г. Оценка технологии производства инертных газов в России / Николаев В. Г. // Энергетик. – 2019. – №. 9. – С. 37–49.
- 8 Vockman, O. C. Some experiments with Scale models of electrochemical Society. - 2018. Vol. 101. 10. X-74.
- 9 Глинков, М. А. Основы общей теории технологических процессов. - М.: Наука, 2016. – 295 с.
- 10 Соснин, О. М. Основы автоматизации технологических процессов и производств. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.

## REFERENCES

1 **Khomchenko, V. G., Gonenko T. V., Pecsno M. C.** Proektirovanie avtomatizirovannikh system upravleniya tekhnologicheskimi proszessami: Ychebnoe posobie. [Designing automated process control systems: Tutorial] Omsk : Izd-vo OmGTY, 2020 – 242 p.

2 **Volovich, G. I.** Rol ASY TP v proizvodstve. 2-e izd., ispr. [Role of APCS in production], ces. 2-nd ed., asp.– Moscow : «Dodeca-XXI». – 2017. – 428 p.

3 **Lisiszin, A. N.** Proektirovanie avtomatizirovannix sistem // Innovacionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii [Design of automated systems// Innovative technologies in science and education]: Sbornik statej V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Penza, 2019. – P. 36–42.

4 **Tygov, V. V., Sergeev A. I., Sharov N. S.** Proektirovanie avtomatizirovannikh system upravleniya : Ychebn. Posobie. [Design of automated control systems: Study. Manual].– izd “Lan”, 2019, – 172 p.

5 **Popel, O. C.** Perspektivy razvitiya proizvodstva inertnih gazov // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. [Prospects for the development of inert gas production] // Energy: economics, technology, ecology. – 2015. – № 3. – P. 6–11.

6 **Grakhov, Yu. V., Matveenko, O. V., Solomin, E. V.** Programmatematicheskaya model tekhnologicheskogo processa [Software and mathematical model of wind power plant] // Materialy V MNPК “Vozobnovlyaemie istochniki energii. Resyrsy” – M. : – 2018. – P. 41– 42.

7 **Nikolaev, V. G.** Oszenka tekhnologii proizvodstva inertnih gazov v Rossii [Evaluation of inert gas production technology in Russia/Nikolaev V. G.// Energetik] / Nikolaev V. G. // Energetik – 2019. – № 9. P. 37–49.

8 **Bockman, O. C.** Some experiments with Scale models of electrochemical Society. [Some experiments with Scale models of electrochemical Society] – 2018. Vol. 101. 10. X–74.

9 **Glinkov, M. A.** Osnovi obchey teorii tekhnologicheskikh processov. [Basics of the general theory of technological processes] – Moscow : Metallurgiya, 2016. – 275 p.

10 **Sosnin, O. M.** Osnovi avtomatizatsii tekhnologicheskikh processov i proizvodstv. [Basics of automation of technological processes and production facilities] – Moscow : Izd zsentr «Academiya». – 2007 – p. 240.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

*В. Ф. Хацевский<sup>1</sup>, Т. В. Гоненко<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Омбы мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## СЫҒЫЛҒАН АЗОТ ӨНДІРІСІНІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

*Жұмыста Қазақстан Республикасының өнеркәсіптік кәсіпорындарында пневматикалық энергия көздері, сусымалы заттарды берудің қосалқы элементтері, технологиялық аппараттардың үрлеу заттары ретінде және тасымалдаушы газдар ретінде инертті газдар өндірісінің технологиялық процестерінде қазіргі заманғы автоматтандыру жүйелерін қолданудың перспективалылығы мен тиімділігін зерттеу ұсынылған. Кез келген химиялық және мұнай-химиялық кәсіпорының қан шығару жүйесі болып табылатын сығылған азот өндірісінің технологиялық процесін автоматтандыру жүйесінің тиімділігі талданады. Маңызды ерекшелігі - жұмыстың апатсыздығы, химия және мұнай-химия кәсіпорындарының шығарылатын өнімдерінің саны мен сапасы оның түсу саны мен тұрақтылығына байланысты.*

*Үш деңгейлі бағдарламалық-аппараттық платформаны: автоматтандырудың далалық деңгейін, бағдарламаланатын логикалық бақылаушыны және оған SKADA-жүйені орнатумен автоматтандырылған жұмыс орнын пайдалануды қамтитын технологиялық процессті басқару жүйесінің жоғары функционалдылығы дәлелденді.*

*Өнеркәсіп кәсіпорындарында сұйытылған азот өндірудің технологиялық процестеріне ұсынылған қазіргі заманғы автоматтандыру жүйесін енгізу оның өндірісінің қауіпсіздігін арттыруға, Қазақстан Республикасының химия және мұнай-химия кәсіпорындарының шығарылатын өнімдерінің сапасын арттыратын халық шаруашылығындағы маңызды технологиялық өнімді өндіруге арналған шығындарды азайтуға әкеп соғады.*

*Кілтті сөздер: автоматтандырылған басқару жүйесі, технологиялық процесс, контроллер, уақытша диаграмма, өтпелі сипаттама.*

*\*V. F. Khatsevskiy<sup>1</sup>, T. V. Gonenko<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk

Material received on 15.12.22

**FEATURES OF COMPRESSED NITROGEN PRODUCTION PROCESS  
AUTOMATION**

*The work presents studies of the prospects and efficiency of the use of modern automation systems in technological processes for the production of inert gases at industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan as sources of pneumatic energy, auxiliary elements for the transfer of bulk substances, blowdown substances of technological devices and as carrier gases. The effectiveness of the automation system of the technological process for the production of compressed nitrogen, which is the circulatory system of any chemical and petrochemical enterprise, is analyzed. An important distinguishing feature is that the number and stability of its receipt depends on the trouble-free operation, the quantity and quality of products produced by chemical and petrochemical enterprises.*

*The high functionality of the process control system has been proven, which consists in the use of a three-level software and hardware platform: a field automation level, a programmable logic controller and an automated workstation with a SKADA-system installed on it.*

*The introduction of the proposed modern automation system into the technological processes of the production of liquefied nitrogen at industrial enterprises will lead to an increase in the safety of its production, a decrease in the cost of producing an important technological product in the national economy, which will increase the quality of the products of chemical and petrochemical enterprises of the Republic of Kazakhstan.*

*Keywords: automated control system, technological process, controller, time chart, transition characteristic.*

МРНТИ 44.39.29

[doi.org/10.48081/RXXA1897](https://doi.org/10.48081/RXXA1897)**\*К. С. Шоланов<sup>1</sup>, А. С. Омаров<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда**ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ  
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ВЕТРОВОЙ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ЗОНТОВЫМ ПАРУСОМ**

*Цель исследования: повысить эффективность преобразования ветровой энергии в электрическую путем выбора конструкции и основных параметров актуаторов манипулятора преобразователя (МП) парусной ветровой электростанции (ПВЭС). Представлена модифицированная ПВЭС, в которой разработана конструкция актуатора МП, объединяющего полуактивную пружинно-демпферную подвеску (ПДП), систему отбора мощности (СОМ) и генератор электрического тока. Показаны преимущества модифицированного ПВЭС при реализации технологии преобразования энергии ветра в электрическую энергию. Проведено исследование и выбор параметров полуактивной подвески актуатора путем анализа созданной динамической модели. Проведен синтез системы управления преднатягом пружины актуатора. Составлена структурная схема системы управления, по которой с помощью Simulink MatLab была построена компьютерная модель и проанализировано поведение системы при различных жесткостях пружины ПДП. На основе параметров опытного образца проведен анализ эффективности ПВЭС. Расчеты энергетического баланса показали, что результаты изменения конструкции ПВЭС, выбор параметров и структуры системы управления подвески позволили создать управляемый возобновляемый источник электрической энергии, имеющий возможность работать с номинальной мощностью при скоростях ветра от 2.5 м/с и выше, независимо от изменения скорости и направления ветра.*

*Ключевые слова: возобновляемый источник энергии, парусная ветровая электростанция, зонтовой парус, параллельный манипулятор, актуатор, пружинно-демпферная подвеска.*



## Введение

С ростом цен на исчерпаемые виды энергии и ухудшением экологической обстановки в мире, все большее внимание уделяется устойчиво возобновляемым источникам энергии, бесспорным лидером в которых к настоящему времени по энергоёмкости является гидроэнергетика. Из источников устойчивого энергоснабжения второе место по энергоёмкости занимает ветровая энергия [1], благодаря своей высокой эффективности и низкому уровню загрязнения окружающей среды.

При этом эффективность современных систем преобразования энергии ветра в электрическую энергию меняется в зависимости от метеорологии окружающей среды и скорости ветра [2-3]. Так как КПД таких установок недостаточно эффективен при низких скоростях и резкопорывистости ветра, разрабатываются альтернативные методы и конструкции преобразования ветровой энергии.

Одними из таких разработок стали ПВЭС с качающимся рабочим органом на основе параллельного манипулятора Sholkor [4,5], а также ПВЭС, модифицированные с целью повышения энергоэффективности [6].

На Рис. 1, а представлена модель модифицированного ПВЭС для демонстрации её функционирования. Актуаторы МП 3 связаны с платформами посредством многозвенных соединений [7]. На Рис.1, б представлен опытный образец актуатора [8] Актуатор составлен из ПДП, СОМ и электрического генератора.



Рисунок 1 – ПВЭС с качающимся зонтовым парусом: а) демонстрационная модель (1: парус; 2: мачта; 3: МП; 4: измерительный прибор); б) опытный образец (76 кг)

ПДП традиционно применяются в транспортных средствах для гашения вибрации. Существующие ПДП подразделяются на пассивные [9], активные [10,11], полуактивные [12]. Причем использование полуактивной подвески требует меньших эксплуатационных расходов и энергии по сравнению с активной подвеской [13]. Введение в конструкции актуаторов полуактивных ПДП имеет целью обеспечить стабильное функционирование ПВЭС вне зависимости от изменения скорости и направления ветра. К особенностям конструкции актуатора относится также то, что в каждый из шести подвижных актуаторов МП встроен генератор электрического тока, что исключает применение дополнительных механических передач.

## Материалы и методы

*Анализ и выбор параметров полуактивной системы подвески актуатора манипуляторного преобразователя*

Расчетная схема для динамической модели актуатора представлена на рис. 2. Здесь показана каретка 1, на которую действуют верхняя пружина 2 и нижняя пружина 3 с коэффициентами жесткости соответственно  $k_2$  и  $k_1$ .  $\Delta_1$  – управляемая предварительная деформация пружины 2. Для исключения вибрации каретки с её нижней стороны дополнительно установлен гидравлический демпфер 5 с коэффициентом вязкого сопротивления демпфера –  $b$ . Ниже ставится задача определить параметры  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $b$  актуатора и исследовать влияние этих параметров на генерирование электрической энергии с применением динамической модели. Известно, что в результате воздействия ветра возникают периодические составляющие сил, действующих на актуаторы. Используя разложение Фурье, эти периодические составляющие сил могут быть представлены в виде суммы сил, изменяющихся по гармонической закономерности.

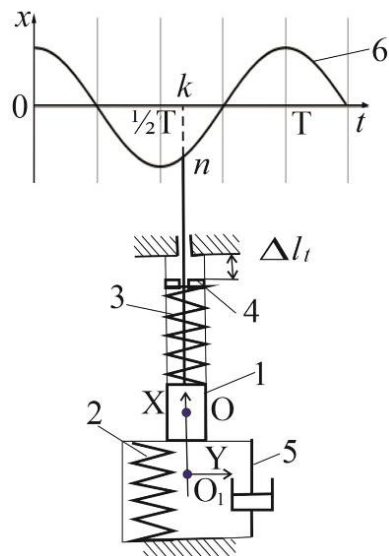


Рисунок 2 – Расчетная схема актуатора

В этой связи при формировании динамической модели, действие на актуатор движущей составляющей силы представлена в виде кинематического воздействия 6, изменяющейся по гармонической закономерности с максимальной амплитудой  $A_a = h/2$  (ход каретки  $h = 384$  мм) и круговой частотой движения рабочего органа (РО) ( $\omega_e = 0.25$  с<sup>-1</sup>).

$$x = A_a \text{Cos}(\omega_e t). \quad (1)$$

Следует отметить, что максимальная амплитуда соответствует реальной конструкции МП, а круговая частота определена на основе экспериментального анализа воздействия ветра.

В равновесном положении (точка O), составляющая силы от действия веса РО на актуатор уравновешиваются силой упругости  $F_0$  нижней пружины, сжатой на величину  $l_0$ , т.е.

$$F_0 = k_1 l_0. \quad (2)$$

Из этого равенства при заданной величине сжатия нижней пружины  $l_0$  и веса РО определяется её жесткость  $k_1 = 35.73 \cdot 10^3$  Н/м. При этом учитывается, что максимальное сжатие пружины 1 должно равняться сумме  $l_0 + h/2$ . Суммарное воздействие сил упругости нижней и верхней пружин с жесткостью соответственно  $k_1$  и  $k_2$  при перемещении каретки  $x$  равно

$$F_k = x(k_1 + k_2), \quad (3)$$

где  $k = k_1 + k_2$ . Сила воздействия демпфера пропорциональна скорости перемещения  $x$  и устанавливается по зависимости

$$F_b = b\dot{x}. \quad (4)$$

С учетом выражений (1–4) для сил, действующих на каретку массой  $m$  (18 кг), составлено уравнение динамики в проекции на ось OX в виде

$$m\ddot{x} = A_a k \text{Cos}(\omega_e t) - b\dot{x} - kx. \quad (5)$$

Выражение (5) приведено к стандартному в теории колебаний виду

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = f_c \text{Cos}(\omega_e t). \quad (6)$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$2\beta = \frac{b}{m}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad f_c = \frac{A_a k}{m}, \quad (7)$$

где  $\beta$  – коэффициент затухания колебания в следствии диссипативных воздействий демпфера;  $\omega_0$  – частота собственных колебаний подвески актуатора;  $f_c$  – текущее амплитудное значение ускорения, вызванного кинематическим возмущением. Дифференциальное уравнение (5) устанавливает связь между движением подвески актуатора и силами, действующими на актуатор. Анализ уравнения (6) с применением теории прикладных колебаний [14], позволяет установить жесткость второй пружины подвески. Для этого используется выражение коэффициента динамичности и его связь с коэффициентом частотной расстройки

$$\mu = \frac{\omega_e}{\omega_0}.$$

Следует отметить, что чем больше амплитуда колебаний каретки 1 (рис. 2), тем более производительней будет работа СОМ. В этой связи сформулируем следующее условие: текущая амплитуда колебания каретки  $A_e$  должна быть не менее 0.8 амплитуды вызванного постоянным кинематическим воздействием ветра. Таким образом коэффициент динамичности должен удовлетворять условию

$$\eta = \frac{A_e}{A_a} \geq 0.8. \quad (8)$$

Используя зависимость между  $\eta$ ,  $\mu$  имеем

$$\eta = \frac{1}{1+\mu^2} = \frac{1}{1+(\frac{\omega_e}{\omega_0})^2} = \frac{1}{1+\frac{\omega_e^2}{k}m} \geq 0.8.$$

Теперь коэффициент жесткости второй пружины определяется из условия

$$k_2 \geq 4m\omega_e^2 - k_1. \quad (9)$$

Принимаем  $k_2 = 22.45 \cdot 10^3$  Н/м. Для того, чтобы определить коэффициент вязкого сопротивления  $b$  демпфера рассмотрим выражение резонансной амплитуды  $A_{res}$  для системы, описываемой уравнением (6), как функцию переменной  $\beta$  [14]

$$A_{res} = \frac{f_0}{2\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}. \quad (10)$$

Определим значение  $\beta$  из условия максимума знаменателя выражения (10), при котором резонансная амплитуда достигает минимального значения

$$\frac{dA_{res}}{d\beta} = \left(2\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}\right)' = 0 \Rightarrow \beta = \pm \frac{\omega_0}{\sqrt{2}} \Rightarrow b = m\omega_0\sqrt{2}. \quad (11)$$

Для гидравлического амортизатора принимаем  $b=80.4$  Нс/м.

Эффективность демпфирования системы ПДП может быть определена по коэффициенту амортизации, определяемой зависимостью (11)

$$\alpha = \frac{\sqrt{1+4\beta^2\mu^2}}{\sqrt{(1-\beta^2)^2+4\beta^2\mu^2}}.$$

Известно, что демпфирование возможно при  $\alpha < 1$ , т.е. при условии, что в выражении  $(1-\beta^2)^2 > 1$  это возможно при  $\beta > \sqrt{2}$  или с учетом (11) получим  $\omega_e > 2$ . Это свидетельствует о том, что в случае малых значений собственных частот каретки, система демпфирования не эффективна.

### Результаты и обсуждение

*Синтез структуры системы управления преднатягом пружины актуатора*

С тем, чтобы управлять преднатягом  $\Delta l$  верхней пружины ПДП каждого актуатора и тем самым обеспечить требуемый ход каретки с амплитудой  $s_{Max} > s \geq s_{Min}$  предусмотрена система регулирования преднатягом верхней пружины. В конструкции актуатора предусмотрен ход каретки на величину  $h=384$  мм. Исходя из этого принимаем  $s_{Max}=0.8A_a$ ,  $s_{Min}=0.2A_a$ . Для того, чтобы синтезировать систему управления преднатягом пружины актуатора уравнение (6) приведено к виду

$$\ddot{x} = f_c \cos(\omega_e t) - 2\beta\dot{x} - \omega_0^2 x + c_e(s). \quad (11)$$

Здесь  $cc(s)$  – управляющее воздействие, реализуемое с помощью трехпозиционного реле как описано в работе [5] чтобы обеспечить выполнение условия  $s_{Max} > s \geq s_{Min}$ .  $f_c \cos(\omega_e t)$  – возмущающее воздействие с частотой качения РО ( $\omega_e$ ). На основании уравнения динамики (12) строится структурная схема нелинейной системы управления ПДП актуатора (рис. 3, а). Здесь  $x_0p$ ,  $x_0$  – начальные условия для интеграторов. Каждое динамическое звено представлено в виде операторных передаточных функций. При этом нелинейные звенья, представляющие управляющее воздействие и возмущающее воздействие обозначены двойными прямоугольниками. На основании структурной схемы создана модель системы (рис. 3, б) с применением библиотеки Simulink MatLab

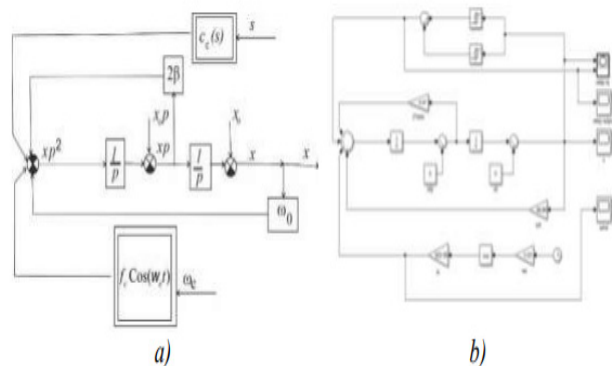


Рисунок 3 – Синтез системы управления:

- а) структурная схема системы управления актуатора;  
 б) компьютерная модель

Полученная компьютерная модель позволяет выбрать жесткость пружин из условия получения требуемой амплитуды движения каретки ПДП. Действительно на рис. 6 приведены полученные законы движения каретки при различных суммарных жесткостях пружин  $k = 56180$  Н/м (рис. 6, а) и  $k = 116360$  Н/м (рис. 6, б).

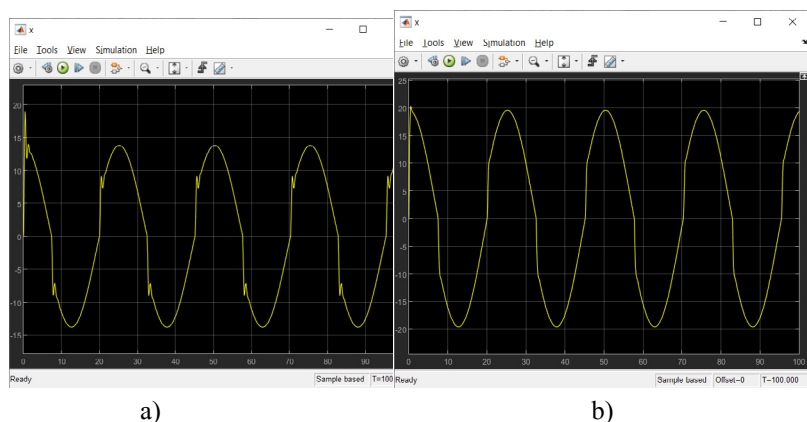


Рисунок 4 – Ход каретки при различных жесткостях пружины

Результаты моделирования показывают, что увеличение жесткости пружин ПДП вызывает увеличение амплитуды хода каретки, что увеличивает производительность ПВЭС.

#### Анализ эффективности модифицированной ПВЭС

Основываясь на процессе преобразования энергии ветра в электрическую энергию можно исследовать движение энергетических потоков в ПВЭС. Действительно энергия ветра воспринимается зонтовым парусом с аэродинамическим профилем NASA-0024 [14] жестко связанным с мачтой и верхней платформой манипулятора (образующие вместе РО) и через платформу передается на шесть актуаторов, в которые встроены генераторы электрического тока, преобразующие механическую энергию в электрическую. Ниже предлагается оценить эффективность модифицированного ПВЭС путем расчета энергетического баланса. Для этого на примере конструкции опытного образца ПВЭС с реальными параметрами (Табл.1), используя результаты экспериментального анализа динамических характеристик ветра, производится вычисление механических характеристик с помощью программы Mathcad по алгоритму, предложенному в работах [4, 7]. При этом определяется сумма энергии от источника (ветра) за время поворота мачты на угол  $100^\circ$  с шагом в  $10^\circ$ .

Таблица 1. Исходные данные для энергетического расчета

№	Наименование параметра	Величина	№	Наименование параметра	Величина
1	Мощность	5 кВт	8	Вес рабочего органа	1290 Н
2	Скорость ветра	2.5 м/с	9	Аэродин. коэф. подъема профиль NASA-0024	0.3
3	Высота мачты	10 м	10	Аэродин. коэф. сопр. профидь NASA-0024	0.09
4	Высота манипулятора	2 м	11	Макс. амплитуда РО	$10^\circ$
5	Длина сторон верхней платформы	$\sqrt{3}$ м	12	Высота каретки	484 мм
6	Длина сторон нижней платформы	$\sqrt{3}$ м	13	Масса каретки	18 кг
7	Площадь поверхности паруса	46,478 м <sup>2</sup>	14	Диаметр барабана	99 мм

В результате расчетов получены значения усилий, скорости перемещения штоков в актуаторах.

Чтобы оценить количественно энергию, передаваемую рабочим органом актуаторам, определена мгновенная мощность РО при прямом ходе по формуле

$$Q_W = \sum_{i=3}^8 F_{ii} v_{ii}, \quad (12)$$

здесь  $F_{ii}$ ,  $v_{ii}$  – соответственно усилия на актуаторах и скорости штоков актуаторов. С помощью выражения (12) вычислена энергия источника при повороте РО на 100 (при прямом ходе)  $Q_W = 5073.587$  Вт. Эта энергия в шести актуаторах расходуется на деформацию пружин  $Q_S$  и преодоление  $Q_A$  сил вязкого сопротивления гидравлического амортизатора. Причем

$$Q_S = k \sum_3^8 \Delta l_i \cdot v_i, \quad Q_A = b \sum_3^8 v_i^2. \quad (13)$$

Для вычисления энергии затраченной в актуаторах по (13) используются параметры актуаторов,  $k = k_1 + k_2 = 58180$  Н/м и  $b = 80.4$  Нс/м вычисленные ранее перемещения в актуаторах при прямом ходе

Вычисленные по зависимостям (13) суммарная энергия, затраченная в актуаторах, равна  $Q_S + Q_A = 2396.475$  Вт. Полезная энергия ПВЭС на прямом ходе определяется из условия энергетического баланса зависимостью  $Q_D = Q_W - Q_S - Q_A$ , т.е.  $Q_D = 2677.112$  Вт.

Коэффициент полезного действия (КПД) модифицированного ПВЭС с зонтовым парусом на рабочем ходе равен

$$\eta = \frac{Q_D}{Q_W} = 0.528.$$

Полученный при низкой скорости ветра (2.5 м/с) КПД модифицированного ПВЭС доказывает эффективность введенных в конструкцию актуаторов МП изменений и обоснованность выбора параметров актуатора. Следует отметить, что для случая обратного хода РО анализ энергетического баланса производится по подобному алгоритму. Однако при этом следует принять во внимание, что в этом случае движение происходит из-за рекуперации энергии упругой деформации пружин актуаторов.

#### 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

В статье составлена динамическая модель актуатора, разработан метод определения параметров актуатора. Также в работе составлена структурная схема системы управления актуатор и проведено компьютерное исследование влияния жесткости пружины на амплитуду движения каретки. С использованием известных алгоритмов для манипулятора Sholkor составлена программа в Mathcad и рассчитаны механические характеристики и на основе уравнения энергетического баланса определен КПД модифицированного ПВЭС. Вычисленный КПД равный 0.528 подтвердил возможность эффективного функционирования ПВЭС при малой скорости ветра равной 2.5 м/с. Тем самым подтверждена обоснованность введенных модификаций ПВЭС и метода выбора параметров актуатора, Научная новизна работы заключается в том, что разработан метод определения параметров актуаторов, получена программа энергетического расчета и определения КПД ПВЭС. Результаты работы могут быть использованы при создании малых автоматически управляемых ПВЭС, работающих на обширных территориях со скоростью ветра от 2.5 м/с и выше.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Wang, X. C., Guo, P., Huang, X. B. A Review of Wind Power Forecasting Models // Vitality Procedia. – 2011. – Vol. 12. – P. 770–778. – DOI: 10.1016/j.egypro.2011.10.103.
- 2 Zhao, D. M., Zhu, Y. C., Zhang, X. Research on Wind Power Forecasting in Wind Farms // Procedures of the IEEE Power Engineering and Automation Conference. – 2011. – P. 175-178. – DOI: 10.1109/PEAM.2011.6134829.
- 3 Sideratos, G., Hatziargyriou, N. D. (2007) An Advanced Statistical Method for Wind Power Forecasting // IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. – Vol. 22. – P. 258-265. – DOI: 10.1109/TPWRS.2006.889078.
- 4 Sholanov, K. S., Kabanbayev, A., Abzhaparov, K. M. Study and Selection of Parameters of Automatically Controlled Wind Power Station with Swaying Sails // International journal of renewable energy research. – 2020. – Vol. 11. – No. 2. – P. 723–737. DOI: 10.20508/ijrer.v10i2.10581.g7947.
- 5 Sholanov, K. S., Mirzabayev, B. I., Ceccarelli, M. Expansibility of Electric Power Production by Sail Wind Power Stations // International Journal of Mechanics and Control. – 2021. – Vol. 22. – No. 02. – P. 117–126.
- 6 Omarov, A. S., Sholanov K. S. Wind power plant with umbrella sail // Patent RK №35684. Published 27.05.2022.

7 **Sholanov, K. S.** Parallel Manipulators of Robots: Theory and Applications. – Springer, 2020. – P. 119–132. – DOI: 10.1007/978-3-030-56073-7\_7.

8 **Sholanov, K. S.** Controlled underwater wave power plant // PCT KZ2021/000011. Published 21.04.2021.

9 **Bruni, S., Vinolas, J., Berg, M., Polach, O., Stichel, S.** Modelling of suspension components in a rail vehicle dynamics context // Vehicle System Dynamics. – 2011. – Vol. 49. – No. 7. – P. 1021–1072.

10 **Collette, C.** Review of Active Vibration Isolation Strategies // Bentham Science Publishers Ltd. – 2011. – Vol. 4. – P. 1050–1058.

11 **Metin, M., Guclu, R.** Vibrations control of light rail transportation vehicle via PID type fuzzy controller using parameters adaptive method // Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. – 2011. – P. 807–816.

12 **He, J., Chen, Y., Zhao, C., Qi, Z., Ren, X.** Heavy truck suspension optimisation based on modified skyhook damping control // International Journal of Heavy Vehicle Systems. – 2011. – Vol. 18. – No. 2. – P. 161–178.

13 **Yerrawar, R. N., Arakerimath, R. R.** Development of Methodology for Semi Active Suspension System Using MR Damper // Materials Today: Proceedings. – 2017. – Vol. 4. – No. 8. – P. 9294–9303. – DOI: 10.1016/j.matpr.2017.07.289.

14 **Kelly, G. S.** [Mechanical Vibrations Theory and Applications. –Gengage Learning, 2012.](#)

Материал поступил в редакцию 15.12.22

\*Қ. С. Шоланов<sup>1</sup>, А. С. Омаров<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ. Материал баспаға 15.12.22 түсті.

## МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ЗОНТТЫҚ ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАҢДАУ

*Зерттеу мақсаты: желкенді жел электр станциясының (ЖЖЭС) манипулятор түрлендіргішінің (МТ) жетектерінің конструкциясы мен негізгі параметрлерін таңдау арқылы жел энергиясын электр энергиясына айналдыру тиімділігін арттыру. Жартылай белсенді серіппелі демпферлік аспасы (СДА), қуатты іріктеу жүйесін (ҚІЖ) және электр тогының генераторын біріктіретін МТ-інің жетегінің конструкциясы әзірленген модификацияланған ЖЖЭС сипатталған. Жел энергиясын электр энергиясына түрлендіру технологиясын енгізудегі модификацияланған ЖЖЭС-тің артықшылықтары*

*көрсетілген. Құрылған динамикалық модельді талдау арқылы жартылай белсенді СДА параметрлерін зерттеу және таңдау жүргізілді. Басқару жүйесінің құрылымдық схемасы жасалды, оған сәйкес Simulink MatLab көмегімен компьютерлік модель жасалды және СДА серіппесінің әртүрлі қаттылықтарындағы жүйенің әрекеті талданды. Прототиптің параметрлері негізінде ПВЭС тиімділігіне талдау жүргізілді. Энергия балансының есептеулері ЖЖЭС конструкциясын өзгерту нәтижелері, аспалы басқару жүйесінің параметрлері мен құрылымын таңдау желдің жылдамдығы мен бағытының өзгеруіне қарамастан 2.5 м/с және одан жоғары жел жылдамдығы номиналды қуатпен жұмыс істей алатын басқарылатын жасақталатын электр энергия көзін құруға мүмкіндік бергенін көрсетті.*

*Кілтті сөздер: жасақталатын энергия көзі, желкенді жел электрстанциясы, зонттық желкені, параллельдік манипулятор, актуатор, серіппелі демпферлік аспасы.*

\*К. С. Шоланов<sup>1</sup>, А. С. Омаров<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Abylqas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda

Material received on 15.12.22

## STUDY AND SELECTION OF PARAMETERS OF THE MODIFIED WIND POWER STATION WITH AN UMBRELLA SAIL

*The purpose of the study: to increase the efficiency of converting wind energy into electrical energy by choosing the design and basic parameters of the sailing wind power plant (SWPP). A modified SWPP is described, in which the design of the manipulator converter actuator has been developed, which combines a semi-active spring-damper suspension (SDP), a power take-off system (PTOS), and an electric current generator. The advantages of the modified SWPP in the implementation of the technology for converting wind energy into electrical energy are shown. A study and selection of parameters for a semi-active actuator suspension was carried out by analyzing the created dynamic model. A block diagram of the control system was compiled, according to which a computer model was built using Simulink MatLab and the behavior of the system was analyzed at various spring stiffness of the SDS. Based on the parameters of the prototype, an analysis of the efficiency of the PVES was carried out. Calculations of the energy balance showed that the results of the change in the design of*

*the SWPP, the choice of parameters and the structure of the suspension control system made it possible to create a controlled renewable source of electrical energy that can operate with rated power at wind speeds of 2.5 m/s and higher, regardless of changes in wind speed and direction.*

*Keywords: renewable energy sources, wind power plant, umbrella sail, parallel manipulator, actuator, spring-damper suspension.*

## **АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ**

**Айдымбаева Жанар Абдешевна**, PhD, аға оқытушы, Энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [diararu@mail.ru](mailto:diararu@mail.ru)

**Ахмадия Асет Ахмадиевич**, PhD, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.akhmadiya@kazatu.kz](mailto:a.akhmadiya@kazatu.kz)

**Асаинов Гибрат Жоламанович**, PhD, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [007giba@mail.ru](mailto:007giba@mail.ru)

**Атякшева Александра Владимировна**, PhD, қауымд. профессор (доцент) Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sahsa77@mail.ru](mailto:sahsa77@mail.ru)

**Атякшева Анастасия Дмитриевна**, Ең озық қолжетімді технологиялар бюросы, «Халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар орталығы» Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nastita111@mail.ru](mailto:nastita111@mail.ru)

**Алимгазин Алтай Шурумбаевич**, профессор, техника ғылымдарының кандидаты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alimgazin\\_altai@mail.ru](mailto:alimgazin_altai@mail.ru)

**Алькина Алия Даулетхановна**, магистр, аға оқытушы, «Ақпараттық технологиялар және қауіпсіздік» кафедрасы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті Қарағанды қ. 100000 Қазақстан Республикасы, e-mail: [alika\\_1308@mail.ru](mailto:alika_1308@mail.ru)

**Акаев Айбек Мұратбекович**, PhD, қауымд. профессор, «Атом және дәстүрлі энергетика технологиялары мектебі» кафедрасы, Шығыс Қазақстан техникалық университеті. Д. Серікбаева, Өскемен қ. 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aubek.akaev.vko\\_81@mail.ru](mailto:aubek.akaev.vko_81@mail.ru)

**Акишев Қаршыға Максұтович**, т.ғ.к., ассоц.проф. ҚазУТБ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

**Алтыбаев Алшын Нарикович**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, энергиямен қамтамасыз ету, ақпараттық технологиялар және машиналарды сынау зертханасының, Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығының меңгерушісі, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [narikovich@yandex.ru](mailto:narikovich@yandex.ru)

**Арынғазин Капар Шәкімұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Экостронии-ПВ ЖШС директоры, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы, 140000, e-mail: [Kapar47@mail.ru](mailto:Kapar47@mail.ru)

**Аяп Рүстем**, студент, ҚазТБҮ, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Rustem2@yandex.ru](mailto:Rustem2@yandex.ru)

**Аканова Акерке Сапаровна**, PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akerkegansaj@mail.ru](mailto:akerkegansaj@mail.ru)

**Арыстанбаев Құттыбек Есенгелдыұлы**, доцент, «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» Фармацевтикалық өндіріс технологиясы кафедрасы, Шымкент қ., 160001, Қазақстан Республикасы, e-mail: [201ukgu@mail.ru](mailto:201ukgu@mail.ru)

**Абильдинова Сауле Кианбековна**, доцент, «Инженериядағы менеджмент және кәсіпкерлік» кафедрасы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Энергетика және байланыс университеті Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [saule18kz@mail.ru](mailto:saule18kz@mail.ru)

**Абжекева Айжан Зейнелгабиденовна**, оқытушы Торайғыров университеті, Павлодар қ. 140000 Қазақстан, e-mail: [a\\_abzhekeeva@mail.ru](mailto:a_abzhekeeva@mail.ru)

**Бекбауов Аскар Бегендыкович**, магистрант Энергетика Факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [askarbekbauov@gmail.com](mailto:askarbekbauov@gmail.com)

**Бейсембаев Мурат Кулханович**, аға оқытушы, «Өнеркәсіптік, азаматтық және көлік құрылыс кафедрасы, техника ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [murat1959b@mail.ru](mailto:murat1959b@mail.ru)

**Бергузинов Асхат Нұрланұлы**, PhD, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [askhat\\_berguzinov@mail.ru](mailto:askhat_berguzinov@mail.ru)

**Бахтиярова Сабина Еркеновна**, техника және технология магистрі, БМТУ» ЖШС, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы e-mail: [Sabina\\_b84@mail.ru](mailto:Sabina_b84@mail.ru)

**Бражанова Дана Корабаевна**, магистр, оқытушы «Энергетикалық жүйелер» кафедрасы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, қ.Қарағанды 100000 Қазақстан Республикасы, e-mail: [dana\\_b.k@bk.ru](mailto:dana_b.k@bk.ru)

**Брусенко Юлия Владимировна**, «Жылуэнергетика» мамандығының магистранты, Энергетика Факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [yuliabru@mail.ru](mailto:yuliabru@mail.ru)

**Бахтияр Балжан**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Энергетикалық Факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті, Астана, 010006, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bahtyar.baljan@mail.ru](mailto:bahtyar.baljan@mail.ru)

**Барукин Александр Сергеевич**, PhD докторы, қауым. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [alexbarukin@mail.ru](mailto:alexbarukin@mail.ru)

**Варламов Геннадий Борисович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ТМД-ның еңбек сіңірген энергетікі, Теориялық және өнеркәсіптік жылу техникасы кафедрасы, Украинаның Ұлттық техникалық университеті (И.Сикорский атындағы Киев политехникалық институты), 01000, Киев қ. e-mail: [varlamovgb@gmail.com](mailto:varlamovgb@gmail.com)

**Глазырин Сергей Александрович**, PhD, техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Жылуэнергетика» кафедрасы, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [glan-sergey@yandex.ru](mailto:glan-sergey@yandex.ru)

**Гаряев Андрей Борисович**, профессор, техника ғылымдарының кандидаты, МЭИ Мәскеу қ., 101001, Ресей Федерациясы, e-mail: [gariayev@mpei.ru](mailto:gariayev@mpei.ru)

**Гоненко Татьяна Владимировна**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Ақпараттық технологиялар және компьютерлік жүйелер факультеті, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644050, Ресей Федерациясы, e-mail: [gonenko\\_t@mail.ru](mailto:gonenko_t@mail.ru)

**Дюсенов Канат Махметович**, техника ғылымдарының кандидаты доцент м.а. Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ Астана қ., 010000 Қазақстан Республикасы, e-mail: [kdyussenov@yandex.ru](mailto:kdyussenov@yandex.ru)

**Деревягин Сергей Иванович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Инженерлік Факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ser\\_der56@mail.ru](mailto:ser_der56@mail.ru)

**Ержанов Калый Шаймерданович**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессоры, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Құрылыс инжинирингі кафедрасы Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kalyi.erzanov@yu.edu.kz](mailto:kalyi.erzanov@yu.edu.kz)

**Жумалиева Алтынай Каирбековна**, техника ғылымдарының кандидаты, ассистент-оқытушы, Энергетикалық Факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010006, Қазақстан Республикасы, e-mail: [zhumaliyeva1990@list.ru](mailto:zhumaliyeva1990@list.ru)



**Жауыт Алғазы**, PhD, қауымд. профессор, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және телекоммуникация университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ali84jauit@mail.ru](mailto:ali84jauit@mail.ru)

**Жумадиллаева Айнур Канадиловна**, ассоц.профессор, доцент «Компьютерлік және программалық инженерия» кафедрасы, м.а., Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан Республикасы

**Жайылхан Нұрадин Әлиұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Құрылыс инжинирингі кафедрасы, , Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nuradin.zhailhan@yu.edu.kz](mailto:nuradin.zhailhan@yu.edu.kz)

**Жантөсова Әсемгүл Бейсембайқызы**, PhD, аға оқытушысы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [acbizh@mail.ru](mailto:acbizh@mail.ru)

**Жабалова Гульнара Газизовна**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Энергетика, көлік және басқару жүйелері факультеті, «Энергетика» кафедрасы, Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [g-zhabalova@mail.ru](mailto:g-zhabalova@mail.ru)

**Золотарёва Светлана Витальевна**, экономика ғылымдарының кандидаты, профессор, Торайғыров университеті, Экономика және құқық факультеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [vitalangel@mail.ru](mailto:vitalangel@mail.ru)

**Исабеков Даурен Джамбулович**, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Dauren\\_pvl2012@mail.ru](mailto:Dauren_pvl2012@mail.ru)

**Исенов Сұлтанбек Сансызбайұлы**, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, энергетикалық факультетінің деканы, техника ғылымдарының кандидаты, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [iss\\_kz@bk.ru](mailto:iss_kz@bk.ru)

**Искаков Руслан Маратбекұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор (доцент), Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., Z05M6G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rus.iskakov](mailto:rus.iskakov)

**Исабеков Жанат Бейсембайұлы**, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетика факультеті, Торайғыров университеті Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asbizh@mail.ru](mailto:asbizh@mail.ru)

**Исабекова Бибигүл Бейсембайқызы**, PhD, қауымд. профессор (доцент), Computer science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [asbizh@mail.ru](mailto:asbizh@mail.ru)

**Ильясова Меруерт Темірбекқызы**, Магистр, аға отышуысы, «Жоғары математика» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Механика-математика факультеті, Астана, Қазақстан Республикасы

**Кошкин Игорь Владимирович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Электр энергетикасы кафедрасы, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [elektroenergetika@mail.ru](mailto:elektroenergetika@mail.ru)

**Кинжибекова Ақмарал Қабиденқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд.профессор, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Торайғыров университеті Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [akmaral70@mail.ru](mailto:akmaral70@mail.ru)

**Қайдар Арғын Бауыржанұлы**, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [argin\\_intel@mail.ru](mailto:argin_intel@mail.ru)

**Калтаев Абдулла Габдылманұлы**, PhD, қауымд. профессор (доцент), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы e-mail: [abdulla911@mail.ru](mailto:abdulla911@mail.ru)

**Колесников Евгений Николаевич**, PhD, Постдокторант, Электротехника және автоматтандыру кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [jeka89\\_pvl@mail.ru](mailto:jeka89_pvl@mail.ru)

**Керімхан Бекжан Темірханұлы**, оқытушы, «Компьютерлік және программалық инженерия» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Ақпараттық технологиялар факультеті, Астана қ., e-mail: [bek\\_zhan\\_16@mail.ru](mailto:bek_zhan_16@mail.ru)

**Калманова Динара Мирзабековна**, Педагогика ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасы, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dinara\\_kalmanova@mail.ru](mailto:dinara_kalmanova@mail.ru)

**Клепель Марк Яковлевич**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы.

**Қойшиев Темірхан Қосыбайұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [temirkhan.koishiyev@gmail.com](mailto:temirkhan.koishiyev@gmail.com)

**Құрманбаев Ғалымжан Бекзұлдаұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, Инженерлі-технологиялық институты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [gkurmanbayev@mail.ru](mailto:gkurmanbayev@mail.ru)

**Кұлтан Исламбек Берікұлы**, магистрант, Инженерлі-технологиялық институты, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [islambek.kultan@mail.ru](mailto:islambek.kultan@mail.ru)

**Камарова Сауле Нуртазаевна**, техника ғылымдарының магистрі, Жылу энергетика, Қарағанды, индустриалды университет, Энергетика, көлік және басқару жүйелері факультеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [cfekt.rfvfhjdf@mail.ru](mailto:cfekt.rfvfhjdf@mail.ru).

**Карманов Амангельды Ерболович**, PhD, ассоц. профессор, Торайғыров университет Павлодар қ., 140008, Қазақстан, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Қалдарова Мира Жорабекқызы**, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kmiraj82@mail.ru](mailto:kmiraj82@mail.ru)

**Леликова Ольга Николаевна**, техника ғылымдарының магистрі, Құрылыс, Қарағанды индустриалды университеті, Энергетика, көлік және басқару жүйелері факультеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [olga\\_lelikova.67@mail.ru](mailto:olga_lelikova.67@mail.ru)

**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)

**Мирманов Арман Барлыкович**, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.mirmanov@kazatu.kz](mailto:a.mirmanov@kazatu.kz)

**Матин Ибрагим Тюлютаевич**, техника ғылымдарының магистрі Сәулет және құрылыс факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ibragim\\_matin@mail.ru](mailto:ibragim_matin@mail.ru)

**Мырзабай Бекжан Бекмұратұлы**, 2 курс докторант, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы e-mail: [mr.enu.tef@mail.ru](mailto:mr.enu.tef@mail.ru)

**Мехтиев Али Джаванширович**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Электр жабдықтарын пайдалану кафедрасы, доцент, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық

университеті, қ. Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [barton.kz@mail.ru](mailto:barton.kz@mail.ru)

**Мерғалимова Алмагуль Каирбергеновна**, PhD, аға оқытушы, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті, Астана қ., 010006, Қазақстан Республикасы, e-mail: [almagul\\_mergalimova@mail.ru](mailto:almagul_mergalimova@mail.ru)

**Мусекенова Гаухар Отегеновна**, магистр, аға оқытушы, Энергетикалық факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [orazova.g@teachers.tou.edu.kz](mailto:orazova.g@teachers.tou.edu.kz)

**Маманова Ирина Викторовна**, аға оқытушысы, «Қаржы» мамандығы бойынша экономика ғылымдарының магистрі», Торайғыров университеті, Экономика және құқық факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ms.stegaylo@](mailto:ms.stegaylo@)

**Машрапов Бауыржан Ерболович**, PhD докторы, постдокторант, Торайғыров университеті, Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

**Мануковский Анатолий Васильевич**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Торайғыров Университеті, Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [man-av@yandex.ru](mailto:man-av@yandex.ru)

**Мақажанов Боранбай Төлесейітұлы**, Автоматтандыру, телекоммуникация және басқару, кафедрасы, доцент, М. Әуезова атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160001, Қазақстан Республикасы

**Набиев Наби Козыевич**, аға оқытушы, техника ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [n.nabiyev@kazatu.kz](mailto:n.nabiyev@kazatu.kz)

**Нефтисов Александр Витальевич**, PhD, Industry 4.0 Ғылыми-Инновациялық Орталығы, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [shurik-neftisov@mail.ru](mailto:shurik-neftisov@mail.ru)

**Новожилов Александр Николаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Электр энергетикасы» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы. email: [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, Омбы қ., 644000, Ресей Федерациясы, e-mail: [timokvey@mail.ru](mailto:timokvey@mail.ru).

**Нешина Елена Геннадьевна**, техника ғылымдарының кандидаты, «Энергетикалық жүйелер» кафедрасының меңгерушісі, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, қ. Қарағанды 100000 Қазақстан Республикасы, e-mail: [l\\_neg@mail.ru](mailto:l_neg@mail.ru)

**Никифоров Александр Степанович**, техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aleke4599@mail.ru](mailto:aleke4599@mail.ru)

**Нұркина Шолпан Мұратқызы**, докторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sholpan\\_shupeeva@mail.ru](mailto:sholpan_shupeeva@mail.ru)

**Недзьведь Александр Михайлович**, PhD, профессор, іргелі математика және информатика факультетінің деканы, Беларусь мемлекеттік университеті, Минск қ., Беларусь Республикасы

**Нуржамал Мейрқұловна Кашкимбаева**, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [knm25-1979@mail.ru](mailto:knm25-1979@mail.ru)

**Нахан Сауле Нұрманқызы**, магистрант, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, «Электрмен жабдықтау және жанартылатын энергия көздері кафедрасы, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [nakhansaule99@mail.ru](mailto:nakhansaule99@mail.ru)

**Огаркова Анастасия Игоревна**, Магистр, докторант, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ogarkova.anastasia@mail.ru](mailto:ogarkova.anastasia@mail.ru)

**Омарханова Динара Жоламановна**, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Ақпараттық жүйелер кафедрасының аға оқытушысы, Нұр-Сұлтан қаласы, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [dinara.omarkhanova@mail.ru](mailto:dinara.omarkhanova@mail.ru)

**Оралбекова Жанар Орымбаевна**, PhD, қауымд. профессоры, Компьютерлік және бағдарламалық инженерия кафедрасы, Л. Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000 Қазақстан Республикасы, e-mail: [oralbekova@bk.ru](mailto:oralbekova@bk.ru)

**Ордабаев Марат Ерболатұлы**, PhD, доцент, Ақпараттық технологиялар факультеті, «Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ord-marat@mail.ru](mailto:ord-marat@mail.ru)

**Омаров Ануар Серикович**, «Электроэнергетика», мамандығы бойынша докторант, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды Техникалық Университеті, Энергетика, автоматика және телекоммуникация

факультеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [omarovanuar91@gmail.com](mailto:omarovanuar91@gmail.com)

**Онищенко Ольга Николаевна**, техника ғылымдарының кандидаты, Энергетика, көлік және басқару жүйелері факультеті, Құрылыс, Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: [teacherolg@mail.ru](mailto:teacherolg@mail.ru)

**Пудич Наталья Николаевна**, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Computer Sciences факультеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [npudich@gmail.ru](mailto:npudich@gmail.ru)

**Попп Людмила Александровна**, экономика ғылымдарының кандидаты, профессор, Экономика және құқық факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [ludmilapopp@mail.ru](mailto:ludmilapopp@mail.ru)

**Рывкина Наталья Валентиновна**, аға оқытушы, Сәулет және құрылыс факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ, 010008, Қазақстан Республикасы, [rondv@mail.ru](mailto:rondv@mail.ru)

**Рахматуллаева Сымбат Сулейменовна**, магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [rsymbatt@bk.ru](mailto:rsymbatt@bk.ru)

**Рахимбердинова Дилара Мұратқызы**, PhD постдокторант, Торайғыров университеті, Электротехника және автоматтандыру кафедрасы, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Di\\_lara83@mail.ru](mailto:Di_lara83@mail.ru)

**Расмухаметова Айнур Серікқызы**, аға оқытушы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: [a.rasmukhametova@aes.kz](mailto:a.rasmukhametova@aes.kz)

**Седнин Алексей Владимирович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Жылу-энергетика саласындағы автоматтандырылған басқару жүйелерінің ғылыми-инновациялық орталығының басшысы, Беларусь ұлттық техникалық университеті, 220000, Минск қ., e-mail: [sednin\\_alexei@yahoo.com](mailto:sednin_alexei@yahoo.com)

**Сериков Тансауле Габдыманович**, PhD докторы, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tansaule\\_s@mail.ru](mailto:tansaule_s@mail.ru)

**Садыкова Самал Бекболатовна**, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық Ұлттық Университеті, Астана қ 010000 Қазақстан Республикасы Республикасы, e-mail: [kundyzdy@mail.ru](mailto:kundyzdy@mail.ru)

**Серикбаева Асем Балтабаевна**, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Ақпараттық жүйелер кафедрасы, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы, 010000, e-mail: [@mail.ru](mailto:ser_assem@mail.ru)

**Сугиров Жиенбек Умирзаевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ХАА академигі, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Құрылыс инжинирингі кафедрасы, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sugirov-56@mail.ru](mailto:sugirov-56@mail.ru)

**Суйменова Маржан Күзембаева**, аға оқытушы, Құрылыс инжинирингі кафедрасы, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [marzan.suimenova@yu.edu.kz](mailto:marzan.suimenova@yu.edu.kz)

**Сыдыкова Гульнар Кудайбергеновна**, 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)

**Сағындық Әйгерім Бекенқызы**, PhD, қауымд. профессор, Торайғыров Университеті, Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [aiko\\_90@mail.ru](mailto:aiko_90@mail.ru)

**Талипов Олжас Манарбекұлы**, PhD, профессор, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасының меңгерушісі, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [talipov1980@mail.ru](mailto:talipov1980@mail.ru)

**Татмышевский Константин Вадимович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, БиЭСТ кафедрасының меңгерушісі, Александр Григорьевич және Николай Григорьевич Столетовы атындағы Владимир мемлекеттік университеті, Владимир қ., 600000, Ресей Федерациясы, e-mail: [tatmysh@mail.ru](mailto:tatmysh@mail.ru)

**Турсунбаева Гүлжамал Уйезбекқызы**, техника ғылымдарының магистрі., ассистент-оқытушы, Энергетикалық факультеті, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [guljama@mail.ru](mailto:guljama@mail.ru)

**Тулегулов Амандос**, Ф.м.ғ. к., ассоц. проф. Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [Tud62@yandex.ru](mailto:Tud62@yandex.ru)

**Тасанбаев Сәлімжан Егемкүлұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, жүйелік талдау және басқару кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [tasanbayev@mail.ru](mailto:tasanbayev@mail.ru)

**Өтеғұлов Арман Болатбекұлы**, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессоры, «Электрмен жабдықтау» кафедрасы,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: [utegulov76@mail.ru](mailto:utegulov76@mail.ru)

**Улихина Юлия Викторовна**, аға оқытушы, Computer Sciences факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [pheniks25@gmail.com](mailto:pheniks25@gmail.com)

**Уразалимова Дария Сансызбаевна**, магистр, аға оқытушы, Энергетикалық факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [urazalimova.d@teachers.tou.edu.kz](mailto:urazalimova.d@teachers.tou.edu.kz)

**Фандюшин Владимир Иванович**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Торайғыров университеті, Computer Sciences факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [fan.vladimir@mail.ru](mailto:fan.vladimir@mail.ru)

**Хацевский Владимир Филатовичке**, техника ғылымдарының докторы профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: [xvf5@mail.ru](mailto:xvf5@mail.ru)

**Шапкенов Бауыржан Қайдарұлы**, профессор, техника ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

**Шеръязов Сәкен Қойшыбайұлы**, техника ғылымдарының докторы, Оңтүстік Орал мемлекеттік Аграрлық университеті, профессор, Челябинск қ., 454000, Ресей Федерациясы

**Шолпанбаев Бақтыгерей Бактурович**, PhD, аға оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Информатика, математика және білімді ақпараттандыру кафедрасы, Алматы қ. Қазақстан Республикасы, e-mail: [bahtygerey@mail.ru](mailto:bahtygerey@mail.ru), 050000-050063

**Шайхиева Кулянда Мактаповна**, аға оқытушы, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Құрылыс инжинирингі кафедрасы, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [kulanda.shaihieva@yu.edu.kz](mailto:kulanda.shaihieva@yu.edu.kz)

**Шоланов Қорғанбай Сағнайұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Ө. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: [sholkor@gmail.com](mailto:sholkor@gmail.com)

**Югай Вячеслав Викторович**, PhD, «Өндірістік үдерістерді автоматтандыру» кафедрасының меңгерушісі, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: [slawa\\_v@mail.ru](mailto:slawa_v@mail.ru)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Айдымбаева Жанар Абдешевна**, PhD, старший преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [diararu@mail.ru](mailto:diararu@mail.ru)

**Ахмадия Асет Ахмадиевич**, PhD старший преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [a.akhmediya@kazatu.kz](mailto:a.akhmediya@kazatu.kz)

**Асаинов Гибрат Жоламанович**, PhD, ст. преподаватель Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [007giba@mail.ru](mailto:007giba@mail.ru)

**Атякшева Александра Владимировна**, PhD кандидат технических наук, ассоц. профессор, доцент, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: [sahsa77@mail.ru](mailto:sahsa77@mail.ru)

**Атякшева Анастасия Дмитриевна**, Гл. эксперт бюро «Наилучшие доступные технологии» «Международный центр зеленых технологий» г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [nastita111@mail.ru](mailto:nastita111@mail.ru)

**Алимгазин Алтай Шурумбаевич**, кандидат технических наук, профессор, Евразийский национальный университет, имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: [alimgazin\\_altai@mail.ru](mailto:alimgazin_altai@mail.ru)

**Алькина Алия Даулетхановна**, магистр, ст.преподаватель кафедры ИТБ, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [alika\\_1308@mail.ru](mailto:alika_1308@mail.ru)

**Акаев Айбек Мұратбекович**, PhD, ассоц. профессор кафедры «Школа технологий атомной и традиционной энергетики», Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева г. Усть-Каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: [aybek.akaev.vko\\_81@mail.ru](mailto:aybek.akaev.vko_81@mail.ru)

**Акишев Каршыга Максutowич**, кандидат технических наук, ассоц. проф. КазУТБ, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

**Алтыбаев Алшын Нарикович**, кандидат технических наук, профессор, Заведующий лабораторией энергообеспечения, информационных технологий и испытания машин, научно-производственного центра Агро-Инженерии, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: [narikovich@yandex.ru](mailto:narikovich@yandex.ru)

**Арынгазин Капар Шакимович**, кандидат технических наук, профессор, директор ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [Kapar47@mail.ru](mailto:Kapar47@mail.ru)

**Аяп Рустем**, студент, КазУТБ, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [Rustem2@yandex.ru](mailto:Rustem2@yandex.ru)

**Аканова Акерке Сапаровна**, PhD, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [akerkegansaj@mail.ru](mailto:akerkegansaj@mail.ru)

**Арыстанбаев Куттыбек Есенгельдыевич**, доцент кафедры «Технология фармацевтического производства», «Южно-Казахстанская медицинская академия», г. Шымкент, 160001, Республика Казахстан, e-mail: [20lukgu@mail.ru](mailto:20lukgu@mail.ru)

**Абильдинова Сауле Кианбековна**, доцент кафедры «Менеджмента и предпринимательства в инженерии», «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [saule18kz@mail.ru](mailto:saule18kz@mail.ru)

**Абжекеева Айжан Зейнелгабиденовна**, преподаватель, Торайғыров университет, г. Павлодар 140000 Казахстан, e-mail: [a\\_abzhekeeva@mail.ru](mailto:a_abzhekeeva@mail.ru)

**Бекбауов Аскар Бегендыкович**, магистрант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [askarbekbauov@qmail.com](mailto:askarbekbauov@qmail.com)

**Бейсембаев Мурат Кулханович**, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Промышленное, гражданское и транспортное строительство», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [murat1959b@mail.ru](mailto:murat1959b@mail.ru)

**Бергузинов Асхат Нурланович**, PhD, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [askhat\\_berguzinov@mail.ru](mailto:askhat_berguzinov@mail.ru)

**Бахтиярова Сабина Еркеновна**, магистр техники и технологий, ТОО «БМТУ», г. Астана, Республика Казахстан, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: [Sabina\\_b84@mail.ru](mailto:Sabina_b84@mail.ru)

**Бражанова Дана Корабаевна**, магистр, преподаватель, кафедра «Энергетические системы», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: [dana\\_b.k@bk.ru](mailto:dana_b.k@bk.ru)

**Брусенко Юлия Владимировна**, магистрант, специальность «Теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [yuliabru@mail.ru](mailto:yuliabru@mail.ru)

**Бахтияр Балжан**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, 010006, Республика Казахстан, e-mail: [bahtyar.baljan@mail.ru](mailto:bahtyar.baljan@mail.ru)

**Барукин Александр Сергеевич**, PhD, ассоц. профессор, Торайғыров университет, Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [alexbarukin@mail.ru](mailto:alexbarukin@mail.ru)

**Варламов Геннадий Борисович**, Доктор технических наук, профессор, заслуженный энергетик СНГ, Кафедра «Теоретическая и промышленная теплотехника», Национальный технический университет Украины (Киевский политехнический институт имени И. Сикорского), 01000, г. Киев. e-mail: [varlamovgb@gmail.com](mailto:varlamovgb@gmail.com)

**Глазырин Сергей Александрович**, PhD, кандидат технических наук, Кафедра «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: [glan-sergey@yandex.ru](mailto:glan-sergey@yandex.ru)

**Гаряев Андрей Борисович**, доктор технических наук, профессор, МЭИ г. Москва 101001 Российская Федерация [gariayev@mpei.ru](mailto:gariayev@mpei.ru)

**Гоненко Татьяна Владимировна**, Кандидат технических наук доцент, Факультет информационных технологий и компьютерных систем, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644050, Российская Федерация, e-mail: [gonenko\\_t@mail.ru](mailto:gonenko_t@mail.ru)

**Дюсенов Канат Махметович**, кандидат технических наук и.о. доцент ЕНУ имени Л.Н. Гумилев, г. Астана 010000 Республика Казахстан, e-mail: [kdyussenov@yandex.ru](mailto:kdyussenov@yandex.ru)

**Деревягин Сергей Иванович**, Кандидат технических наук, ассоц. профессор, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [ser\\_der56@mail.ru](mailto:ser_der56@mail.ru)

**Ержанов Калый Шаймерданович**, кандидат технических наук, ассоц. профессор кафедры «Строительный инжиниринг» Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: [kalyi.erzanov@yu.edu.kz](mailto:kalyi.erzanov@yu.edu.kz)

**Жумалиева Алтынай Каирбековна**, м.т.н., ассистент–преподаватель, Факультет энергетики, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, 010006, Республика Казахстан, e-mail: [zhumaliyeva1990@list.ru](mailto:zhumaliyeva1990@list.ru)

**Жауыт Алгазы**, PhD, ассоц. профессор, Алматинский университет энергетики и телекоммуникаций имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [ali84jauit@mail.ru](mailto:ali84jauit@mail.ru)

**Жумадилаева Айнура Канадиловна**, ассоц. профессор, и.о. доцент кафедры «Компьютерная и программная инженерия», ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, Астана Республика Казахстан.

**Жайылхан Нурадин Алиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительный инжиниринг» Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: [nuradin.zhailhan@yu.edu.kz](mailto:nuradin.zhailhan@yu.edu.kz)

**Жантлесева Асемгуль Бейсембаевна**, PhD, ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана, 010008, e-mail: [acbizh@mail.ru](mailto:acbizh@mail.ru)

**Жабалова Гульнара Газизовна**, Кандидат технических наук, профессор, кафедра «Энергетика», Факультет Энергетики, «Карагандинский индустриальный университет», транспорта и систем управления, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [g-zhabalova@mail.ru](mailto:g-zhabalova@mail.ru)

**Золотарёва Светлана Витальевна**, Кандидат экономических наук, профессор, Факультет экономики и права, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [vitalangel@mail.ru](mailto:vitalangel@mail.ru)

**Исабеков Даурен Джамбулович**, PhD, постдокторант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [Dauren\\_pvl2012@mail.ru](mailto:Dauren_pvl2012@mail.ru)

**Исенов Султанбек Сансызбаевич**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, декан энергетического факультета, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [iss\\_kz@bk.ru](mailto:iss_kz@bk.ru)

**Искаков Руслан Маратбекович**, кандидат технических наук, ассоц. профессор (доцент), и.о. профессора Казахского агротехнического университета имени Сакена Сейфуллина, Казахский Агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, г. Астана, Z05M6G3, Республика Казахстан, e-mail: [rus.iskakov79@mail.ru](mailto:rus.iskakov79@mail.ru)

**Исабеков Жанат Бейсембайевич**, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [asbizh@mail.ru](mailto:asbizh@mail.ru)

**Исабекова Бибигуль Бейсембаевна**, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет Computer science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [asbizh@mail.ru](mailto:asbizh@mail.ru)

**Ильсова Мерuert Темірбекқызы**, Магистр, ст. преподаватель кафедры «Высшая математика» Механико-математического факультета, ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, Астана Республика Казахстан.

**Кошкин Игорь Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Электроэнергетика», Костанайский региональный университет имени А.Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: [elektroenergetika@mail.ru](mailto:elektroenergetika@mail.ru)

**Кинжибекова Акмарал Кабиденовна**, кандидат технических наук, ассоц.профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [akmaral70@mail.ru](mailto:akmaral70@mail.ru)

**Кайдар Аргын Бауыржанұлы**, докторант, Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [argin\\_intel@mail.ru](mailto:argin_intel@mail.ru)

**Калтаев Абдулла Габдылманұлы**, PhD, ассоц. профессор (доцент), Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [abdulla911@mail.ru](mailto:abdulla911@mail.ru)

**Колесников Евгений Николаевич**, PhD Постдокторант кафедра «Электротехника и автоматизация, Торайғыров университет. г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [jeka89\\_pvl@mail.ru](mailto:jeka89_pvl@mail.ru)

**Керімхан Бекжан Темірханұлы**, Преподаватель, кафедра «Компьютерная и программная инженерия», ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, факультет информационных технологий, г. Астана, e-mail: [bek\\_zhan\\_16@mail.ru](mailto:bek_zhan_16@mail.ru)

**Калманова Динара Мирзабековна**, Кандидат педагогических наук, ст. преподаватель кафедра «Космическая техника и технологии» ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [dinara\\_kalmanova@mail.ru](mailto:dinara_kalmanova@mail.ru)

**Клещель Марк Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

**Койшиев Темирхан Косыбаевич**, доктор технических наук профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [temirkhan.koishiyev@gmail.com](mailto:temirkhan.koishiyev@gmail.com)

**Курманбаев Галымжан Бекзулдаулы**, кандидат технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [gkurmanbayev@mail.ru](mailto:gkurmanbayev@mail.ru)

**Култан Исламбек Берикович**, Магистрант, специальность Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический

институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [islambek.kultan@mail.ru](mailto:islambek.kultan@mail.ru)

**Камарова Сауле Нуртазаевна**, м.т.н. – Теплоэнергетики, «Карагандинский индустриальный университет», факультет Энергетики, транспорта и систем управления, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [cfekt.rfvfhjdf@mail.ru](mailto:cfekt.rfvfhjdf@mail.ru)

**Карманов Амангельды Ерболович**, Phd, ассоц. профессор Торайғыров университет, г. Павлодар 140000 Казахстан, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Калдарова Мира Жорабекқызы**, докторант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [kmiraj82@mail.ru](mailto:kmiraj82@mail.ru)

**Леликова Ольга Николаевна**, м.т.н. – Строительство, Факультет Энергетики, транспорта и систем управления, «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [olga\\_lelikova.67@mail.ru](mailto:olga_lelikova.67@mail.ru)

**Марковский Вадим Павлович**, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Электроэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [wadim54@mail.ru](mailto:wadim54@mail.ru)

**Мирманов Арман Барлыкович**, ассоц. профессор, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, [a.mirmanov@kazatu.kz](mailto:a.mirmanov@kazatu.kz)

**Матин Ибрагим Тюлютаевич**, Магистр технических наук Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: [ibragim\\_matin@mail.ru](mailto:ibragim_matin@mail.ru)

**Мырзабай Бекжан Бекмұратұлы**, 2 курс, докторант, ЕНУ имени Л.Н. Гумилев г. Астана 010000, Республика Казахстан, e-mail: [mr.enu.tef@mail.ru](mailto:mr.enu.tef@mail.ru)

**Мехтиев Али Джаванширович**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, доцент, кафедра «Эксплуатация электрооборудования», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [barton.kz@mail.ru](mailto:barton.kz@mail.ru)

**Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна**, PhD, ст. преподаватель, Факультет энергетика, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, 010006, Республика Казахстан, e-mail: [almagul\\_mergalimova@mail.ru](mailto:almagul_mergalimova@mail.ru)

**Мусекенова Гаухар Отегеновна**, магистр, старший. преподаватель, Факультет энергетика, Торайғыров Университет, г.

Павлодар, 140008, Республика Казахстан; e-mail: [orazova.g@teachers.tou.edu.kz](mailto:orazova.g@teachers.tou.edu.kz)

**Мамонина Ирина Викторовна**, старший преподаватель, магистр экономических наук по специальности «Финансы», Факультет экономики и права, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ms.stegaylo@mail.ru](mailto:ms.stegaylo@mail.ru)

**Машрапов Бауыржан Ерболович**, PhD, постдокторант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

**Мануковский Анатолий Васильевич**, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Торайғыров университет, Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [man-av@yandex.ru](mailto:man-av@yandex.ru)

**Макажанов Боранбай Толеситович**, доцент, кафедра «Автоматизация, телекоммуникация и управление», Южно-Казахстанский университет им. М.Ауезова, г. Шымкент, 160001

**Набиев Наби Козыевич**, кандидат технических наук ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [n.nabiyev@kazatu.kz](mailto:n.nabiyev@kazatu.kz)

**Нефтисов Александр Витальевич**, PhD, Научно-Инновационный Центр Industry 4.0, Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [shurik-neftisov@mail.ru](mailto:shurik-neftisov@mail.ru)

**Новожилов Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, кафедра «Электроэнергетика», (Казахстан) Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [novozhilova\\_on@mail.ru](mailto:novozhilova_on@mail.ru)

**Новожилов Тимофей Александрович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Омский государственный технический университет, г. Омск, 644000, Российская Федерация, e-mail: [timokvey@mail.ru](mailto:timokvey@mail.ru)

**Нешина Елена Геннадьевна**, кандидат технических наук, зав. кафедрой «Энергетические системы», «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100000 Республика Казахстан, e-mail: [1\\_neg@mail.ru](mailto:1_neg@mail.ru)

**Никифоров Александр Степанович**, доктор технических наук профессор, ассоц. профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [aleke4599@mail.ru](mailto:aleke4599@mail.ru)

**Нуркина Шолпан Муратовна**, докторант, специальность «Теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [sholpan\\_shupeeva@mail.ru](mailto:sholpan_shupeeva@mail.ru)

**Недзьведь Александр Михайлович**, PhD, профессор, декан факультета прикладной математики и информатики, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

**Нуржамал Мейркуловна Кашкимбаева**, старший преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [knm25-1979@mail.ru](mailto:knm25-1979@mail.ru)

**Нахан Сауле Нурмановна**, магистрант, специальность «Электроэнергетика», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Кафедра «Электроснабжение и возобновляемые источники энергии», г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [nakhansaule99@mail.ru](mailto:nakhansaule99@mail.ru)

**Огаркова Анастасия Игоревна**, Магистр, докторант, Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: [ogarkova.anastasia@mail.ru](mailto:ogarkova.anastasia@mail.ru)

**Омарханова Динара Жоламановна**, старший преподаватель, кафедра «Информационные системы», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [dinara.omarkhanova@mail.ru](mailto:dinara.omarkhanova@mail.ru)

**Оралбекова Жанар Орымбаевна**, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Компьютерная, программная инженерия», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Республика Казахстан, e-mail: [oralbekova@bk.ru](mailto:oralbekova@bk.ru), 010000

**Ордабаев Марат Ерболатович**, PhD, доцент, Факультет информационных технологий, «Евразийский университет имени Л. Н. Гумилева», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [ord-marat@mail.ru](mailto:ord-marat@mail.ru)

**Омаров Ануар Серикович**, докторант, специальность «Электроэнергетика», Карагандинский Технический Университет имени А. Сагинова, Факультет энергетики, автоматизации и телекоммуникаций, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [omarovanuar91@gmail.com](mailto:omarovanuar91@gmail.com)

**Онищенко Ольга Николаевна**, м.т.н. Строительство, «Карагандинский индустриальный университет», факультет



Энергетики, транспорта и систем управления, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: [teacherolg@mail.ru](mailto:teacherolg@mail.ru)

**Пудич Наталья Николаевна**, старший преподаватель, Факультет Computer Sciences, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [npudich@gmail.ru](mailto:npudich@gmail.ru)

**Попп Людмила Александровна**, кандидат экономических наук., профессор, Факультет экономики и права, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [ludmilapopp@mail.ru](mailto:ludmilapopp@mail.ru)

**Рывкина Наталья Валентиновна**, старший преподаватель Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н.Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: [rondv@mail.ru](mailto:rondv@mail.ru)

**Рахматуллаева Сымбат Сулейменовна**, магистрант, ЕНУ, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, [rsymbatt@bk.ru](mailto:rsymbatt@bk.ru)

**Рахимбердинова Дилара Муратовна**, PhD, Постдокторант, кафедра «Электротехника и автоматизация, «Электроэнергетика» Торайғыров университет. г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: [Di\\_lara83@mail.ru](mailto:Di_lara83@mail.ru)

**Расмухаметова Айнур Сериковна**, старший преподаватель, кафедра энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматинский университет, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: [a.rasmukhametova@aes.kz](mailto:a.rasmukhametova@aes.kz)

**Седнин Алексей Владимирович**, Кандидат технических наук, доцент, заведующим научно-исследовательского и инновационного центра автоматизированных систем управления в теплоэнергетики и промышленности, Белорусский национальный технический университет, 220000, г. Минск, e-mail: [sednin\\_alexei@yahoo.com](mailto:sednin_alexei@yahoo.com)

**Сериков Тансауле Габдыманович**, PhD, ассоц. профессор, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [tansaule\\_s@mail.ru](mailto:tansaule_s@mail.ru)

**Садыкова Самал Бекболатовна**, PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилев г. Астана, 010000 Республика Казахстан, e-mail: [kundyzy@mail.ru](mailto:kundyzy@mail.ru)

**Серикбаева Асем Балтабаевна**, старший преподаватель, кафедра «Информационные системы» Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [@mail.ru](mailto:ser_assem@mail.ru)

**Сугиров Жиенбек Умирзаевич**, доктор технических наук, академик МАИН, профессор, кафедра «Строительный инжиниринг», Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.

Есенова. г. Актау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: [sugirov\\_56@mail.ru](mailto:sugirov_56@mail.ru)

**Суйменова Маржан Кузембаева**, старший преподаватель, кафедра Строительный инжиниринг, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова. г. Актау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: [marzan.suimenova@yu.edu.kz](mailto:marzan.suimenova@yu.edu.kz)

**Сыдыкова Гульнар Кудайбергеновна**, кандидат технических наук., ассоц. профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: [sydykova77@mail.ru](mailto:sydykova77@mail.ru)

**Сагындык Айгерим Бекенкызы**, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [aiko\\_90@mail.ru](mailto:aiko_90@mail.ru)

**Талипов Олжас Манарбекович**, PhD, профессор, заведующий кафедрой Электротехника и автоматизация, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [talipov1980@mail.ru](mailto:talipov1980@mail.ru)

**Татмышевский Константин Вадимович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой БиЭСТ, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовы, г. Владимир, 600000, Российская Федерация, e-mail: [tatmysh@mail.ru](mailto:tatmysh@mail.ru)

**Турсунбаева Гулжамал Уйезбековна**, м.т.н., ассистент-преподаватель, Факультет энергетики, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: [guljama@mail.ru](mailto:guljama@mail.ru)

**Тулгулов Амандос**, к.ф.м.н., ассоц. проф. КазУТБ, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: [Tud62@yandex.ru](mailto:Tud62@yandex.ru)

**Тасанбаев Салимжан Егемкулович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Системный анализ и управление», Евразийский Национальный Университет имени Л. Н.Гумилева г.Астана, Республика Казахстан, e-mail: [tasانبayev@mail.ru](mailto:tasانبayev@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)

**Улихина Юлия Викторовна**, старший преподаватель, Факультет Computer Sciences, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [pheniks25@gmail.com](mailto:pheniks25@gmail.com)

**Уразалимова Дария Сансызбаевна**, магистр, старший преподаватель, Факультет энергетика, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [urazalimova.d@teachers.tou.edu.kz](mailto:urazalimova.d@teachers.tou.edu.kz);

**Фандюшин Владимир Иванович**, кандидат технических наук., ассоц. профессор, Факультет Computer Sciences, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140013, Республика Казахстан, e-mail: [an.vladimir@mail.ru](mailto:an.vladimir@mail.ru)

**Хацевский Владимир Филатович**, доктор технических наук, профессор, Энергетический факультет, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: [xvf5@mail.ru](mailto:xvf5@mail.ru)

**Шапкенов Бауыржан Кайдарович**, кандидат технических наук, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

**Шерязов Сакен Койшыбаевич**, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрного университет, г. Челябинск, 454000, Российская Федерация

**Шолпанбаев Бактыгерей Бактурович**, PhD, старший преподаватель кафедры «Информатика, математика и информатизация образования» Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: [bahtygerey@mail.ru](mailto:bahtygerey@mail.ru) 050000-050063

**Шайхиева Кулянда Мактаповна**, старший преподаватель, кафедра «Строительный инжиниринг» Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, 130000, Республика Казахстан, e-mail: [kulanda.shaihieva@yu.edu.kz](mailto:kulanda.shaihieva@yu.edu.kz)

**Шоланов Корганбай Сагнаевич**, доктор технических наук, профессор, КарТУ имени А. Сагинова, Факультет энергетика, автоматика и телекоммуникации, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: [sholkor@gmail.com](mailto:sholkor@gmail.com)

**Югай Вячеслав Викторович**, PhD, зав.кафедрой АПП, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда 100000 Республика Казахстан, e-mail: [slawa\\_v@mail.ru](mailto:slawa_v@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Aidymbayeva Zhanar Abdeshevna**, PhD, Senior Lecturer, Almaty University of Energy and Communications, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [diararu@mail.ru](mailto:diararu@mail.ru)

**Akhmediya Asset Akhmediyevich**, PhD, senior lecturer, Kazakh agrotechnical university named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.akhmediya@kazatu.kz](mailto:a.akhmediya@kazatu.kz)

**Assainov Gibrat Zholamanovich**, PhD, senior lecturer, Kazakh Agrotechnical university named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [007giba@mail.ru](mailto:007giba@mail.ru)

**Atyaksheva Alexandra Vladimirovna**, PhD, associate professor Energy Faculty, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sahsa77@mail.ru](mailto:sahsa77@mail.ru)

**Atyaksheva Anastasiya Dmitrievna**, Chief expert of the Project office Non-profit Joint-Stock Company «International green technologies and investment projects center» Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nastita111@mail.ru](mailto:nastita111@mail.ru)

**Alimgazin Altai Shurumbaevich**, Doctor of Technical Science, professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008 Republic of Kazakhstan, e-mail: [alimgazin\\_altai@mail.ru](mailto:alimgazin_altai@mail.ru)

**Alkina Aliya**, master's degree, senior lecturer of the Department of Information Technology and security, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda 10000 Republic of Kazakhstan, e-mail: [alika\\_1308@mail.ru](mailto:alika_1308@mail.ru)

**Akaev Aibek Muratbekovich**, Associate Professor of the Department of School of Nuclear and Traditional Energy Technologies, Doctor PhD, dean D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University Ust-Kamenogorsk, 070004 Republic of Kazakhstan, e-mail: [aybek.akaev.vko\\_81@mail.ru](mailto:aybek.akaev.vko_81@mail.ru)

**Akishev Karshyga**, Candidate of Technical Sciences, ass. prof. Kazutb, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

**Altybayev Alshyn**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Energy Supply, Information Technology and Machine Testing, Scientific and Production Center of Agro-Engineering, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [narikovich@yandex.ru](mailto:narikovich@yandex.ru)

**Aryngazin Kapar Shakimovich**, c.t.s. Professor, Director of Ecostronii-PV LLP, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, [Kapar47@mail.ru](mailto:Kapar47@mail.ru)

**Aya Rustem**, student, KazUTB, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Rustem2@yandex.ru](mailto:Rustem2@yandex.ru)

**Akanova Akerke Saparovna**, PhD, Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [akerkegansaj@mail.ru](mailto:akerkegansaj@mail.ru)

**Arystanbayev Kuttybek Esengeldyevich**, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Production Technology, South Kazakhstan Medical Academy JSC, Shymkent, 160001, Republic of Kazakhstan, e-mail: [201ukgu@mail.ru](mailto:201ukgu@mail.ru)

**Abildinova Saule**, Associate Professor of the Department of «Management and Entrepreneurship in Engineering», «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev», Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [saule18kz@mail.ru](mailto:saule18kz@mail.ru)

**Abzhekeeva Aizhan Zeynelgabidenovna**, teacher Toraighyrov University Pavlodar 140000 Kazakhstan, e-mail: [a\\_abzhekeeva@mail.ru](mailto:a_abzhekeeva@mail.ru)

**Bekbauov Askar Begendykovich**, Graduate student, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [askarbekbauov@qmail.com](mailto:askarbekbauov@qmail.com)

**Beisembayev Murat Kulkhanovich**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Industrial, Civil and transport construction Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [murat1959b@mail.ru](mailto:murat1959b@mail.ru)

**Berguzinov Askhat Nurlanovich**, PhD, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [askhat\\_berguzinov@mail.ru](mailto:askhat_berguzinov@mail.ru)

**Bahtiyarova Sabina Erkenovna**, Master of Engineering and Technology, BMTU» LLP, Astana, 010008 Republic of Kazakhstan, e-mail: [Sabina\\_b84@mail.ru](mailto:Sabina_b84@mail.ru)

**Brazhanova Dana**, master's degree, lecturer of the Department of «Energy Systems», Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dana\\_b.k@bk.ru](mailto:dana_b.k@bk.ru)

**Brussenko Yulia Vladimirovna**, Master's student in the specialty Heat power engineering, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, The Republic of Kazakhstan, e-mail: [yuliabru@mail.ru](mailto:yuliabru@mail.ru)

**Bakhtiyar Balzhan**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Energy, Kazakh agrotechnical University. S. Seifullina, Astana, 010006, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bahtiyar\\_baljan@mail.ru](mailto:bahtiyar_baljan@mail.ru)

**Barukin Aleksandr Sergeevich**, doctor PhD, assoc. professor, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [alexbarukin@mail.ru](mailto:alexbarukin@mail.ru)

**Varlamov Gennady Borisovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Power Engineer of the CIS, Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine (Kyiv Polytechnic Institute named after I. Sikorsky), 01000, Kyiv, e-mail: [varlamovgb@gmail.com](mailto:varlamovgb@gmail.com)

**Glazyrin Sergey Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences, PhD, Department of Heat and Power Engineering, Eurasian National University named after L. N. Gumilyov, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [glan-sergey@yandex.ru](mailto:glan-sergey@yandex.ru)

**Garyaev Andrey Borisovich**, Professor, Doctor of Technical Sciences MPEI Moscow 101001 Russian Federation, e-mail: [gariayev@mpei.ru](mailto:gariayev@mpei.ru)

**Gonenko Tatyana Vladimirovna**, PhD of Technical Science, docent, Faculty of Information Technology and Computer Systems, Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russian Federation e-mail: [gonenko\\_t@mail.ru](mailto:gonenko_t@mail.ru)

**Dyusenov Kanat Makhmetovich** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor ENU named after L. N. Gumilev Astana 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kdyussenov@yandex.ru](mailto:kdyussenov@yandex.ru)

**Derevyagin Sergey Ivanovich**, Candidate of technical sciences, associate professor, Toraighyrov University, Faculty of Engineering, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ser\\_der56@mail.ru](mailto:ser_der56@mail.ru)

**Yerzhanov Kaly Shaimerdanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Engineering of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenova, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kalyi.e-mail:erzanov@yu.edu.kz](mailto:kalyi.e-mail:erzanov@yu.edu.kz)

**Zhumaliyeva Altyнай Kairbekovna**, Master of Technical Sciences, teaching assistant, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical University. S. Seifullina, Astana, 010006, Republic of Kazakhstan, e-mail: [zhumaliyeva1990@list.ru](mailto:zhumaliyeva1990@list.ru)

**Zhauyt Algazy**, PhD, Associate Professor, Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Telecommunications, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ali84jauit@mail.ru](mailto:ali84jauit@mail.ru)

**Zhumadillayeva Ainur Kanadilovna**, Ph.D. in Technology, Associate Professor Faculty of Information Technologies L. N. Gumilyov ENU Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Ay8222@mail.ru](mailto:Ay8222@mail.ru)

**Zhayilkhan Nuradin Alievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Engineering of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.

Yesenova, Aktau, 32 microdistrict, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nuradin.zhailhan@yu.edu.kz](mailto:nuradin.zhailhan@yu.edu.kz)

**Zhantlessova Asemgul**, PhD, senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Republic of Kazakhstan, Astana, 010008, e-mail: [acbizh@mail.ru](mailto:acbizh@mail.ru)

**Zhabalova Gulnara**, candidate of Technical Sciences, Professor Department of «Energy», «Karaganda Industrial University», Faculty of Energy, transport and control systems, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [g-zhabalova@mail.ru](mailto:g-zhabalova@mail.ru)

**Zolotareva Svetlana**, Professor, Toraighyrov University, Faculty of Economics and Law, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [vitalangel@mail.ru](mailto:vitalangel@mail.ru)

**Issabekov Dauren Dzhambulovich**, PhD, postdoctoral fellow, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Dauren\\_pvl2012@mail.ru](mailto:Dauren_pvl2012@mail.ru)

**Issenov Sultanbek Sansyzbaevich**, Kazakh Agrotechnical University named after. S.Seifullina, Dean of Energy faculty, candidate of technical sciences, associate professor 010000, Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: [iss\\_kz@bk.ru](mailto:iss_kz@bk.ru)

**Iskakov Ruslan Maratbekovich**, Acting Professor of the Kazakh Agrotechnical University named after Saken Seifullin, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor (docent), Saken Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Z05M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rus.iskakov79@mail.ru](mailto:rus.iskakov79@mail.ru)

**Issabekov Zhanat Beisembayevich**, PhD, Associate Professor, Faculty of energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asbizh@mail.ru](mailto:asbizh@mail.ru)

**Issabekova Bibigul Beisembayevna**, PhD, Associate Professor, Faculty of computer science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [asbizh@mail.ru](mailto:asbizh@mail.ru)

**Piyasova Meruert Temirbekkyzy** MComp., Senior Lecturer Faculty of Mechanics and mathematics, L. N. Gumilyov ENU Astana, Republic of Kazakhstan

**Koshkin Igor Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering, Kostanay regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [elektroenergetika@mail.ru](mailto:elektroenergetika@mail.ru)

**Kinzhibekova Akmaral Kabidenovna**, Ph.D, professor of the department «Heat power engineering» Assoc.Professor, Toraighyrov

University», Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, The Republic of Kazakhstan, e-mail: [akmaral70@mail.ru](mailto:akmaral70@mail.ru)

**Kaidar Argyn Bauyrzhanuly**, doctoral student of the Kazakh Agrotechnical University named after. S. Seifullin, Astana, 010000 Republic of Kazakhstan, e-mail: [argin\\_intel@mail.ru](mailto:argin_intel@mail.ru)

**Kaltayev Abdulla Gabdylmanapuly**, Associate Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [abdulla911@mail.ru](mailto:abdulla911@mail.ru)

**Kolesnikov Evgeny Nikolaevich**, Postdoctoral student of the Department of Electrical Engineering and Automation, PhD «Electric Power Engineering» Toraighyrov University. Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [jeka89\\_pvl@mail.ru](mailto:jeka89_pvl@mail.ru)

**Kerimkhan Bekzhan Temirkhanuly** MComp., teacher Faculty of Information Technologies L. N. Gumilyov ENU Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bek\\_zhan\\_16@mail.ru](mailto:bek_zhan_16@mail.ru)

**Kalmanova Dinara Mirzabekovna**, Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of «Space Technique and Technology» L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dinara\\_kalmanova@mail.ru](mailto:dinara_kalmanova@mail.ru)

**Kletsel Mark Yakovlevich**, doctor of technical sciences, professor, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

**Koishiev Temirkhan**, doctor of technical sciences, professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, The Republic Of Kazakhstan, e-mail: [temirkhan.koishiyev@gmail.com](mailto:temirkhan.koishiyev@gmail.com)

**Kurmanbaev Galymzhan Bekzuldauly**, Ph.D., Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, The Republic Of Kazakhstan, e-mail: [ukurmanbayev@mail.ru](mailto:ukurmanbayev@mail.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)

**Kamarova Saule**, master of Technical Sciences – Heat power Engineering, Karaganda Industrial University, Faculty of Energy, transport and control systems, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [cfekt.rfvfhjdf@mail.ru](mailto:cfekt.rfvfhjdf@mail.ru)

**Karmanov Amangeldy Erbolovich**, Phd, associate professor Toraighyrov University Pavlodar 140000 Kazakhstan, e-mail: [aman270685@mail.ru](mailto:aman270685@mail.ru)

**Kaldarova Mira Zhorabekkyzy**, doctoral, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kmiraj82@mail.ru](mailto:kmiraj82@mail.ru)

**Lelikova Olga** master of Technical Sciences – Civil engineering, «Karaganda Industrial University», Faculty of Energy, transport and control systems, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [olga\\_lelikova.67@mail.ru](mailto:olga_lelikova.67@mail.ru)

**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)

**Mirmanov Arman Barlykovich**, associate professor, Kazakh agrotechnical university named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [a.mirmanov@kazatu.kz](mailto:a.mirmanov@kazatu.kz)

**Matin Ibragim** Master of Technical Sciences Faculty of Architecture and Construction, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ibragim\\_matin@mail.ru](mailto:ibragim_matin@mail.ru)

**Myrzabay Bekzhan Bekmuratovich**, 2nd year doctoral student L. N. Gumilyov ENU Astana 010000 Republic of Kazakhstan. e-mail: [enu.tef@mail.ru](mailto:enu.tef@mail.ru)

**Mekhtiyev Ali**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Operation of Electrical Equipment» Kazakh agrarian 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, senior lecturer, Faculty of Energy, Kazakh agrotechnical University. S. Seifullina, Astana, 010006, Republic of Kazakhstan, e-mail: [almagul\\_mergalimova@mail.ru](mailto:almagul_mergalimova@mail.ru)

**Musekenova Gaukhar Otegenovna**, magistr, senior lecturer, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [orazova.g@teachers.tou.edu.kz](mailto:orazova.g@teachers.tou.edu.kz)

**Mamonova Irina Viktorovna**, senior lecturer MSc in Economic Sciences, Toraighyrov University, Faculty of Economics and Law, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ms.stegaylo@mail.ru](mailto:ms.stegaylo@mail.ru)

**Mashrapov Bauyrzhan Erbolovich**, doctor PhD, postdoctoral student, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [bokamashrapov@mail.ru](mailto:bokamashrapov@mail.ru)

**Manukovskiy Anatoliy Vassilyevich**, candidate of technical sciences, associate professor Toraighyrov University, Faculty of Energetics, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [man-av@yandex.ru](mailto:man-av@yandex.ru)

**Makazhanov Boranbai Toleseitovich**, associate Professor of the Department of Automation, Telecommunications and Management,

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, 160001, Republic of Kazakhstan

**Nabiyev Nabi Kozyevich**, senior lecturer, candidate of technical sciences, Kazakh agrotechnical university named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [n.nabiyev@kazatu.kz](mailto:n.nabiyev@kazatu.kz)

**Neftissov Alexandr Vitalievich**, PhD, Industry 4.0 Research and Innovation Center, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [shurik-neftisov@mail.ru](mailto:shurik-neftisov@mail.ru)

**Novozhilov Alexander Nikolaevich**, Professor of the Department of «Electric Power Engineering», Doctor of Technical Sciences, Professor Kazakhstan, Toraighyrov University. Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [novozhilova\\_on@mail.ru](mailto:novozhilova_on@mail.ru)

**Novozhilov Timofey Alexandrovich**, Associate Professor of the Department Power Supply of Industrial Enterprises, Candidate of Technical Sciences, Omsk State Technical University, Omsk, 644000, Russian Federation, e-mail: [timokvey@mail.ru](mailto:timokvey@mail.ru)

**Neshina Yelena**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of «Energy Systems», Abylka Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 1000000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [l\\_neg@mail.ru](mailto:l_neg@mail.ru)

**Nikiforov Alexandr Stepanovich**, professor of the department «Heat power engineering» doctor., Professor, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, The Republic of Kazakhstan, e-mail: [aleke4599@mail.ru](mailto:aleke4599@mail.ru)

**Nurkina Sholpan Muratovna**, doctoral student in the specialty «Heat power engineering», «Toraighyrov University», Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, The Republic of Kazakhstan, e-mail: [sholpan\\_shupeeva@mail.ru](mailto:sholpan_shupeeva@mail.ru)

**Nedzvedz Alexander**, Ph.D. Professor, Faculty of Applied Mathematics and Computer Science Belarusian State University Republic of Belarus.

**Nurmanovna, Nakhana Saule** master's student in «Electrical Engineering» «Almaty University of Power Engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev», «Power supply and renewable energy department», Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [nakhansaule99@mail.ru](mailto:nakhansaule99@mail.ru)

**Meirkulovna Nurzhamal Kashkimbayeva**, senior lecturer S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [knm25-1979@mail.ru](mailto:knm25-1979@mail.ru)

**Ogarkova Anastasia**, Master's degree, doctoral student Kostanay regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ogarkova.anastasia@mail.ru](mailto:ogarkova.anastasia@mail.ru)

**Omarkhanova Dinara Zholamanovna**, Senior Lecturer of the Department of Information Systems, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [dinara.omarkhanova@mail.ru](mailto:dinara.omarkhanova@mail.ru)

**Oralbekova Zhanar Orymbaevna**, Associate professor, PhD, Department of Computer and software engineering L. N. Gumilyov Eurasian national University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [oralbekova@bk.ru](mailto:oralbekova@bk.ru), [Postcode](mailto:Postcode)

**Ordabayev Marat Erbolatovich**, PhD, Associate Professor, Faculty of Information Technology, Non-profit joint stock Company «L.N. Gumilyov Eurasian University», Astana c., 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ord-marat@mail.ru](mailto:ord-marat@mail.ru)

**Omarov Anuar Serikovich**, PhD student in «Electric Power Engineering», A. Saginov Karaganda Technical University, Faculty of Energy, Automation and Telecommunication, Karaganda, Republic of Kazakhstan, e-mail: [omarovanuar91@gmail.com](mailto:omarovanuar91@gmail.com).

**Onichshenko Olga**, master of Technical Sciences – Civil engineering, «Karaganda Industrial University», Faculty of Energy, transport and control systems, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: [teacherolg@mail.ru](mailto:teacherolg@mail.ru).

**Pudich Natalya Nikolaevna**, Senior Lecturer, Toraighyrov University, Faculty of Computer Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [npudich@gmail.ru](mailto:npudich@gmail.ru)

**Popp Lyudmila**, Professor, Toraighyrov University, Faculty of Economics and Law, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ludmilapopp@mail.ru](mailto:ludmilapopp@mail.ru)

**Ryvkina Natalya Valentinovna**, Senior lecturer Faculty of Architecture and Construction, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rondv@mail.ru](mailto:rondv@mail.ru)

**Rakhmatullaeva Symbat Suleimenovna**, undergraduate, Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [rsymbatt@bk.ru](mailto:rsymbatt@bk.ru)

**Rakhimberdinova Dilara Muratovna**, Postdoctoral student of the Department of Electrical Engineering and Automation, PhD, Electric Power Engineering, Toraighyrov University. Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Di\\_lara83@mail.ru](mailto:Di_lara83@mail.ru).

**Rasmukhametova Ainur**, Senior lecturer «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)

**Sednin Alexey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research and Innovation Center for Automated Control Systems in the Heat and Power Industry, Belarusian National Technical University, 220000, Minsk, e-mail: [sednin\\_alexei@yahoo.com](mailto:sednin_alexei@yahoo.com)

**Serikov Tansaule Gabdymanapovich**, PhD, associate professor, Kazakh agrotechnical university named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tansaule\\_s@mail.ru](mailto:tansaule_s@mail.ru)

**Sadykova Samal Bekbolatovna**, PhD, L. N. Gumilyov ENU Astana, 010000 Republic of Kazakhstan, e-mail: [kundyzdy@mail.ru](mailto:kundyzdy@mail.ru)

**Serikbaeva Asem Baltabaevna**, Senior Lecturer of the Department of Information Systems, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [@mail.ru](mailto:ser_assem@mail.ru)

**Sugirov Zhienbek Umirzaevich**, Doctor of Technical Sciences, Academician of the MAIN, Professor of the Department of «Construction Engineering» of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenova. Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sugirov-56@mail.ru](mailto:sugirov-56@mail.ru)

**Suimenova Marzhan Kuzembayeva**, Senior Lecturer of the Department of «Construction Engineering» of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenova. Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [marzan.suimenova@yu.edu.kz](mailto:marzan.suimenova@yu.edu.kz)

**Sydykova Gulnar**, Ph.D., Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, The Republic Of Kazakhstan, e-mail: [sydykova77@mail.ru](mailto:sydykova77@mail.ru)

**Sagyndyk Aigerim Bekenkyzy**, PhD, associate professor Toraighyrov University, Faculty of Energetics, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [aiko\\_90@mail.ru](mailto:aiko_90@mail.ru)

**Talipov Olzhas Manarbekovich**, PhD, professor Head of the Department of «Electrical Engineering and Automation», Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [talipov1980@mail.ru](mailto:talipov1980@mail.ru)

**Tatmyshevsky Konstantin Vadimovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of BiEST, Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletova, Vladimir, 600000, Russian Federation, e-mail: [tatmysh@mail.ru](mailto:tatmysh@mail.ru)

**Tursunbayeva Gulzhamal Uyezbekovna**, Master of Technical Sciences, teaching assistant, Faculty of Energy, Academy of logistics and transport, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan, e-mail: [guljama@mail.ru](mailto:guljama@mail.ru)

**Tulegulov Amandos**, c.t.s., ass. prof. Kazutb, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [Tud62@yandex.ru](mailto:Tud62@yandex.ru)

**Tasanbayev Salimzhan Egemkulovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of «System Analysis and Management», L.N.Gumilev Eurasian National University Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: [tasandbayev@mail.ru](mailto:tasandbayev@mail.ru)

**Utegulov Arman Bolatbekovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of, ower Supply, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: [utegulov76@mail.ru](mailto:utegulov76@mail.ru)

**Ulikhina Yulia Viktorovna**, Senior Lecturer, Toraighyrov University, Faculty of Computer Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [pheniks25@gmail.com](mailto:pheniks25@gmail.com)

**Urazalimova Darya Sansyzbaevna**, magistr, senior lecturer, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [urazalimova.d@teachers.tou.edu.kz](mailto:urazalimova.d@teachers.tou.edu.kz)

**Fandyushin Vladimir Ivanovich**, Candidate of technical sciences, associate professor, Toraighyrov University, Faculty of Computer Sciences, Pavlodar, 140013, Republic of Kazakhstan, e-mail: [fan.vladimir@mail.ru](mailto:fan.vladimir@mail.ru)

**Khatsevskiy Vladimir Filatovich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: [xvf5@mail.ru](mailto:xvf5@mail.ru)

**Shapkenov Bauyrzhan Kaidarovich**, candidate of technical sciences, professor of the non-profit joint-stock company Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

**Sheryazov Saken Koishybaevich**, doctor of technical Sciences, Professor of the South Ural state agrarian University, 454000, Chelyabinsk, Russian Federation

**Sholpanbaev Baktygeri Bakturovich**, PhD, Senior Lecturer, Department of Informatics, Mathematics and Informatization of Education, Abai Kazakh National Pedagogical University, Institute of Mathematics, Physics and Informatics Almaty, Kazakhstan, e-mail: [bahtygeriy@mail.ru](mailto:bahtygeriy@mail.ru), Postcode 050000-050063

**Shaikhieva Kulyanda Maktapovna**, Senior Lecturer of the Department of «Construction Engineering» of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenova, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [kulanda.shaihieva@yu.edu.kz](mailto:kulanda.shaihieva@yu.edu.kz)

**Sholanov Korganbay Sagnaevich**, Doctor of technical sciences, professor, A. Saginov Karaganda Technical University, Faculty of Energy, Automation and Telecommunication, Karaganda, Republic of Kazakhstan, e-mail: [sholkor@gmail.com](mailto:sholkor@gmail.com)

**Yugay Vyacheslav**, Doctor of PhD, head of the department of AMP, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 1000000, Republic of Kazakhstan, e-mail: [slawa\\_v@mail.ru](mailto:slawa_v@mail.ru)

**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.**

**\*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.**

**\* Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирование 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 Аффiliation** (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.). Рекомендуем 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 / Кіріспе / 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 подрисовочные 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**

	На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)			
Должность, ученая степень, звание			
Организация			
Город			
Индекс			
Страна			
E-mail			
Телефон			

### **Информация для авторов**

**ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ**

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

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 «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.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 HSBKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

**\*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 искомым 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 ИПК 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 университети, 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. Торайғырова; 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 ekologicheskomu 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. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

*С. К. 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 қоруге мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.*

*S. K. Antikeeva*

Toraigyrov 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
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАК, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ  
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,  
«КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайғыров 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 15.12.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4019

Сдано в набор 15.12.2022 г. Подписано в печать 30.12.2022 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4019

«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

www.vestnik-energy.tou.edu.kz