Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы

1997 жылдан бастап шығады

ВЕСТНИК Торайгыров университета

Энергетическая серия

Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2023)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж
выдано
Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

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

Подписной индекс – 76136

https://doi.org/10.48081/ABAC7746

Бас редакторы – главный редактор
Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*
Ответственный секретарь Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

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., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н.,, доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

Акишев К. М., Тулегулов А. Д., Байжарикова М., Аманкул Т., Ергеш М.
Электр энергиясын тұтынуды бақылау, есепке алу және деректерді жинау бойынша міндерттерді шешу үшін NB-IoT технологиясының мүмкіндектері 12
Андреева О. А., Гоненко Т. В., Любецкая М. А., Азаматов М. Т.
Жылу алмасу аппараттарын басқарудың интеллектуалды жүйесін қолдану 25
Әмірхан М. Н., Искакова К. А.
Күн панеліне арналған трекер жүйесі 36
Балтин А. Т., Ахметбаев Д. С., Таткеева Г. Г., Асаинов Г. Ж.
Қазақстан Республикасында 20 кВ арату желілерінің сенімділігін.....49
Барукин А. С., Машрапов Б. Е., Клецель М. Я.
2n қайталама орамдарымен және 2n түзеткіштерімен трансформаторы бар түрлендіргіш қондырғылардың ресурс үнемдейтін дифференциалды қорғанысы.....61
Волгин М. Е., Волгина Е. М., Кислов А. П.
Реактивті қуатты оңтайлы басқару арқылы өнеркәсіптік кәсіпорындардың 6–10 кВ электр желілерінің тиімділігін арттыру.....72
Генбач А. А., Бондарцев Д. Ю., Генбач Н. А.
Энергия жабдығының түтік-кеуекті құрылымдарында жылу алмасуын көрсету 85
Глущенко Т. И., Бедыч Т. В., Фёдорова М. Л., Исабекова Б. Б., Бижанов Н. У.
Автономды энергиямен қамтамасыз ету үшін балама технологиялар.....94
Жалмагамбетова У., Турсын М.
Тұзды алудың технологиялық процесінің автоматтандырылған жүйесін жаңғырту 106
Жумагулов М. Г., Баубек А. А., Грибков А. М., Глазырин С. А., Долгов М. В.
Төмендетуді зерттеу және оларды арттыру әдістері 118
Исабеков Д. Д., Бобров В. Я., Марковский В. П.
Электрқондырғылардын ресурс үнемдейтін ток қорғаныстары 130
Исенов С. С., Шерьязов С. Қ.
Жаңартылатын көздер базасында электрмен жабдықтау жүйелерінің жай-күйі мен дамуын талдау 140
Испулов Н. А., Султанова М. Ж., Оспанова Ж. Ж., Джусупова Э. М.
Микроконтроллерге негізделген ауаны жылытуды басқару жүйесі 153

Кисабекова А. А., Красников А. С., Алпысова Г. К.
Түрлендіргіш люминофоры бар жарықдиод үшін
потенциалды материал $LuNbO_4$:Bi, Eu ниобат спектроскопиясы.....166
Қасым Р. Т., Толегенова А. С., Соболеват Л. А.,
Болатбеков З. А., Сериков Т. Г.
Интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты
көп антенналы сымсыз тасымалдаудың моделі 178
Митрофанов А. В., Абдуллина Г. Г., Дюсова Р. М.,
Ахмедьянова Г. К., Айгожина Д. Г.
Қайнаған қабаты бар аппараттан бөлшектерді
тасымалдаудың математикалық моделі 186
Мусагажинов М. Ж., Мехтиев А. Д.
Телекоммуникация жүйелерін дамытудың әлемдік үрдісін ескере
отырып, ТОБЖ жүйесінің техникалық жай-күйін мониторингтеу
жүйелерінің қазіргі жай-күйіне шолу және оларды дамыту 193
Мустафина Р. М., Мусекенова Г. О., Уразалимова Д. С.
2020–2021 жылдарындағы энергетикалық трилемманың
талаптарын Қазақстанда орындалуы.....204
Муталова Ж. С., Қасымова А. Х., Сулейменова Р. З.,
Абдыгаликова Г. А., Исакова Г. О.
Ашық кодты DSpace, Koha және Evergreen кітапхана
жүйелеріне салыстырмалы талдау 212
Никифоров А. С., Кучербаев М. С., Хамитов М. С.
Кокс пештерінің температуралық әсерлерді
есептеудің кейбір аспектілері 224
Ногай А. С., Ногай А. А., Өскенбаев Д. Е.,
Ногай Е. А., Дүйсенғазина Н. Н.
Натрий-иондық аккумуляторлардағы Na_2FePO_4F поликристалына
негізделген катодтың құрылымы мен электрохимиялық қасиеттері 234
Онгар Б., Смагулова Г. К., Сарсенбаев Е. А.,
Нурмадиева Э. А., Сеитбек Е. Е.
Стационарлық режимдерді есептеуде электр желілерінің
режимдерін модельдеу және оңтайландыру 247
Орынбаев С. А., Токмолдаев А. Б., Абдлахатова Н. Ш.
Рибейро Л. Ф., Жүсіп Т. С.
Жамбыл облысы мысалында, Оңтүстік Қазақстанның
геотермалды көздерімен, ауылдық жерлердегі
тұтынушыларды жылумен жабдықтау.....260
Оспанова Н. Н., Мукушев М. А., Аканова А. С.
Павлодар облысының техногендік қалдықтарын пайдаланатын
құрылыс материалдарының сипаттамаларын таңдаудың
ақпараттық жүйесін әзірлеу 271

Рахадилов Б. К., Даутбеков М. К., Журерова Л. Г.,
Степанова О. А., Акаев А. М.
Жылу электр станцияларының энергетикалық жабдықтарының
бөліктеріне детонациялық бүрку арқылы жабындарды
алу технологиясы.....282
Рахимбердинова Д. М., Новожилов А. Н., Колесников Е. Н.,
Жуматаев Н. Ш., Новожилов Т. А.
Магниттік ток түрлендіргіштерінің құрылымдық ерекшеліктері 295
Сыдыкова Г. К.
Импульстік озонатордың жұмысын талдау 306
Талипов С. Н.
QR кодтарын қолдана отырып, студенттердің
сабаққа қатысу анализаторын жасау 317
Чныбаева Д. М., Цыба Ю. А.
Сымсыз цифрлық технология құралдарымен магистральдық
құбырдың технологиялық және техникалық мониторингі 326
Ярославцев М. В., Талипов О. М., Исабеков Ж. Б.,
Калтаев А. Г., Анарбаев А. Е.
Арналандырылған стектердің редакторының көмегімен
паллеттеу тапсырмаларына робот-манипуляторларды
қолдану тиімділігін арттыру.....343

Авторлар туралы ақпарат 352

Авторларға арналған ережелер.....381

Жарияланым этикасы.....392

СОДЕРЖАНИЕ

Акишев К. М., Тулегулов А. Д., Байжарикова М., Аманкул Т., Ергеш М.
Возможности технологии NB-IoT для решения задач по контролю, учету и сбору данных потребления электроэнергии.....12
Андреева О. А., Гоненко Т. В., Любецкая М. А., Азаматов М. Т.
Применение интеллектуальной системы управления теплообменными аппаратами 25
Әмірхан М. Н., Искакова К. А.
Трекерная система для солнечной батареи 36
Балтин А. Т., Ахметбаев Д. С., Таткеева Г. Г., Асаинов Г. Ж.
Исследование снижения надежности распределительных сетей 20 кВ в Республике Казахстан и методы их повышения.....49
Барукин А. С., Машрапов Б. Е., Клецель М. Я.
Ресурсосберегающая дифференциальная защита преобразовательных установок с трансформатором с 2n вторичными обмотками и 2n выпрямителями 61
Волгин М. Е., Волгина Е. М., Кислов А. П.
Повышение эффективности электрических сетей 6–10 кВ промышленных предприятий путём оптимального управления реактивной мощностью.....72
Генбач А. А., Бондарцев Д. Ю., Генбач Н. А.
Визуализация теплообмена в капиллярно-пористых структурах энергооборудования.....85
Глущенко Т. И., Бедыч Т. В., Фёдорова М. Л., Исабекова Б. Б., Бижанов Н. У.
Альтернативные технологии для автономного энергообеспечения 94
Жалмагамбетова У., Турсын М.
Модернизация автоматизированной системы технологического процесса извлечения соли.....106
Жумагулов М. Г., Баубек А. А., Грибков А. М., Глазырин С. А., Долгов М. В.
Использование водомазутной эмульсии в вихревых горелочных устройствах.....118
Исабеков Д. Д., Бобров В. Я., Марковский В. П.
Ресурсосберегающие токовые защиты электроустановок.....130
Исенов С. С., Шерьязов С. Қ.
Анализ состояния и развития систем электроснабжения на базе возобновляемых источников 140

Испулов Н. А., Султанова М. Ж., Оспанова Ж. Дж., Джусупова Э. М.
Система управления нагрева воздуха на основе микроконтроллера 153
Кисабекова А. А., Красников А. С., Алпысова Г. К.
Спектроскопия ниобата $LuNbO_4$:Bi, Eu – потенциального материала для светодиодов с преобразующим люминофором 166
Қасым Р. Т., Толегенова А. С., Соболева Л. А. Болатбеков З. А., Сериков Т. Г.
Модель сверхширокополосной многоантенной беспроводной передачи информации между интерфейсами.....178
Митрофанов А. В., Абдуллина Г. Г., Дюсова Р. М., Ахмедьянова Г. К., Айгожина Д. Г.
Математическая модель уноса частиц из аппарата с кипящим слоем 186
Мусагажинов М. Ж., Мехтиев А. Д.
Обзор современного состояния и развития систем мониторинга технического состояния системы ВОЛС 193
Мустафина Р. М., Мусекенова Г. О., Уразалимова Д. С.
Выполнение требований энергетической трилеммы в Казахстане в 2020–2021 годах.....204
Муталова Ж. С., Қасымова А. Х., Сулейменова Р. З., Абдыгаликова Г. А., Исакова Г. О.
Сравнительный анализ библиотечных систем с открытым кодом DSpace, Koha и Evergreen.....212
Никифоров А. С., Кучербаев М. С., Хамитов М. С.
Некоторые аспекты расчета печей прокалки кокса на температурные воздействия.....224
Ногай А. С., Ногай А. А., Ускенбаев Д. Е., Ногай Э. А., Дюсенгазина Н. Н.
Структура и электрохимические свойства катода на основе поликристалла Na_2FePO_4F в натрий ионных аккумуляторах 234
Онгар Б., Смагулова Г. К., Сарсенбаев Е. А., Нурмадиева Е. А., Сейтбек Э. Э.
Моделирование и оптимизация режимов электросети в расчетах на стационарный режим.....247
Орынбаев С. А., Токмолдаев А. Б., Абдлахатова Н. Ш., Рибейро Л. Ф., Жүсіп Т. С.
Потенциал геотермальных источников Южного Казахстана, на примере Жамбылской области, для теплоснабжения потребителей сельской местности.....260
Оспанова Н. Н., Мукушев М. А., Аканова А. С.
Разработка информационной системы выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов Павлодарской области 271

Рахадилов Б. К., Даутбеков М. К., Журерова Л. Г., Степанова О. А., Акаев А. М.
Технология получения покрытий методом детонационного напыления на деталях энергетического оборудования тепловых станций 282
Рахимбердинова Д. М., Новожилов А. Н., Колесников Е. Н., Жуматаев Н. Ш., Новожилов Т. А.
Конструкционные особенности магнитных преобразователей тока.....295
Сыдыкова Г. К.
Анализ работы импульсного озонатора 306
Талипов С. Н.
Разработка анализатора посещаемости студентов с использованием QR-кодов 317
Чныбаева Д. М., Цыба Ю. А.
Технологический и технический мониторинг магистрального трубопровода средствами беспроводной цифровой технологии 326
Ярославцев М. В., Талипов О. М., Исабеков Ж. Б., Калтаев А. Г., Анарбаев А. Е.
Повышение эффективности применения роботов-манипуляторов для задач паллетизации при помощи специализированного редактора схем укладки 343

Сведения о авторах.....352

Правила для авторов 381

Публикационная этика 392

CONTENT

Akishev K. M., Tulegulov A. D., Baizharikova M., Amankul T., Yergesh M.
Capabilities of NB-IoT technology for solving tasks of monitoring, accounting and collecting data on electricity consumption.....12
Andreyeva O., Gonenko T., Lyubetskaya M., Azamatov M.
Application of an intelligent control system for heat exchangers.....25
Amirkhan M. N., Iskakova K. A.
Tracker system for solar battery 36
Baltin A. T., Akhmetbayev D. S., Tatkeeva G. G., Asainov G. Zh.
Study of reliability reduction of 20 kV distribution networks in the Republic of Kazakhstan and methods of their improvement 49
Barukin A. S., Mashrapov B. E., Kletsel M. Ya.
Resource-saving differential protection of converter installation with a transformer with 2n secondary windings and 2n rectifiers 61
Volgin M. E., Volgina E. M., Kislov A. P.
Improving the efficiency of 6–10 kV power grids of industrial enterprises through optimal reactive power control.....72
Genbach A. A., Bondartsev D. Yu., Genbach N. A.
Visualization of heat exchange in capillary porous structures of power equipment 85
Glushchenko T. I., Bedych T. V., Fyodorova M. L., Issabekova B. B., Bizhanov N. U.
Alternative technologies for autonomous power supply 94
Zhalmagambetova U., Tursyn M.
Modernization of the automated system technological process of salt extraction.....106
Zhumagulov M. G., Baubek A. A., Gribkov A. M., Glazyrin S. A., Dolgov M. V.
Use of oil-water emulsion in swirl burners 118
Issabekov D. D., Bobrov V. Ya., Markovskiy V. P.
Resource-saving current protections for electrical installations.....130
Issenov S. S., Sheryazov S. K.
Analysis of the state and development of electricity supply systems based on renewable sources 140
Ispulov N. A., Sultanova M. Zh., Ospanova Zh. Dzh., Jussupova E. M.
Air heating control system based on microcontroller.....153
Kissabekova A. A., Krasnikov A. S., Alpyssova G. K.
Spectroscopy of niobate $LuNbO_4$:Bi, Eu – potential material for leds with a conversion luminophore 166

Kassym R. T., Tolegenova A. S., Soboleva L. A., Bolatbekov A., Serikov T. G.
A model of ultra-wideband multi-antenna wireless transmission of information between interfaces.....178
Mitrofanov V., Abdullina G. G., Dyusova R. M., Ahmedyanova G. K., Aigozhina D. G.
Mathematical model of particle entrainment from a fluidized bed 186
Musagazhinov M. Zh., Mekhtiev A. D.
Overview of the current state and development of monitoring systems for the technical condition of the fiber optic system, taking into account the global trend in the development of telecommunications systems.....193
Mustafina R. M., Mussekenova G. O., Urazalimova D. S.
Meeting the requirements of the energy trilemma in Kazakhstan in 2020–2021 204
Mutalova Zh., Kasymova A., Suleimenova R., Abdygalikova G., Issakova G.
Comparative analysis of open source library systems DSpace, Koha and Evergreen.....212
Nikiforov A. S., Kucherbayev M. S., Khamitov M. S.
Some aspects of the calculation of coke furnaces for temperature effects 224
Nogai A. S., Nogai A. A., Uskenbaev D. E., Nogay E. A., Dyusengazina N. N.
Structure and electrochemical properties of a cathode based on Na_2FePO_4F polycrystal in sodium-ion batteries.....234
Ongar B., Smagulova G. K., Sarsenbaev Ye. A., Nurmadieva E. A., Seitbek Ye. Ye.
Modeling and optimization of power network modes in stationary mode calculations 247
Orynbayev S. A., Tokmoldaev A. B., Abdlakhatova N. Sh., Ribeiro I. F., Zhusup T. S.
The potential of geothermal sources in southern Kazakhstan for heat supply to rural consumers, the case of the Zhambyl region.....260
Ospanova N. N., Mukushev M. A., Akanova A. S.
Development of the information system for the selection of characteristics of building materials using man-made waste of Pavlodar region 271
Rakhadilov B. K., Dautbekov M. K., Zhurerova L. G., Stepanova O. A., Akaev A. M.
Technology of obtaining coatings by detonation coating on parts of power equipment of thermal power plants.....282
Rakhimberdinova D. M., Novozhilov A. N., Kolesnikov E. N., Zhumataev N. Sh., Novozhilov T. A.
Design features of magnetic current converters.....295

Sydykova G. K.
Analysis of the operation of the pulse ozonator.....306
Talipov S. N.
Development of a student attendance analyzer using QR codes 317
Chnybayeva D. M., Tsyba Yu. A.
Technological and technical monitoring of the main pipeline by means of wireless digital technology 326
Yaroslavtsev M. V., Talipov O. M., Isabekov Z. B., Kaltayev A. G., Anarbayev A. E.
Increasing the eficiency of palletizing robots with spetialized laying schemes editor 343

Information about the authors.....352

Rules for authors 381

Publication ethics 392

SRSTI 50.47.00:44.29.31:49.33.29

https://doi.org/10.48081/BLJO4853

K. M. Akishev[1], A. D. Tulegulov[2], M. Baizharikova[3], T. Amankul[4], M. Yergesh[5]

[1,2,4,5]Kazakh University of Technology and Business, Republic of Kazakhstan, Astana;

[3]M. H. Dulati Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan, Taraz

e-mail: akmail04cx@mail.ru

CAPABILITIES OF NB-IOT TECHNOLOGY FOR SOLVING TASKS OF MONITORING, ACCOUNTING AND COLLECTING DATA ON ELECTRICITY CONSUMPTION

Problems with accounting, collection and correct readings of electricity meters are of great importance when preparing and invoicing for electricity, especially in neighborhoods with private households, where the process of monitoring electricity consumption is not always provided for various reasons beyond the control of the consumer of services. The development of modern information technologies, including mobile communications using the technology of NB-IoT, allows us to solve problems related to improving the efficiency of monitoring, accounting, and data collection of electricity consumption in microdistricts not only quickly and efficiently, but also increase the management efficiency of the process of collecting meter readings, as well as reducing the costs of the Service Provider for transport services, personnel and other items of expenditure. The article presents an analysis of various brands of metering devices used in the Urker microdistrict and the use of metering devices with the support of technology NB-IoT. A simulation model of access to metering devices using the technology of NB-IoT is shown. The issues related to the causes and problems of electricity theft are touched upon. The article will be useful to students, doctoral students, engineers, anyone who is related to automation and control of technological processes and productions, as well as anyone who deals with the problems of implementing the ASUE, IoT technology.

Keywords: Internet of Things technology, accounting, collection, control, metering device, mobile operator, efficiency, mobile communication, technology NB-IoT, ASKUE technology.

Introduction

Problems related to the control, accounting and collection of electricity consumption data have been studied and are being studied by many foreign and Kazakhstani scientists and the methods proposed by them are used in practice [1]. The problem of electricity theft has always been and still is, as one of the main ones in the articles of electricity transmission organizations and operators [2–6].

In 2021–22, prices for household gas and commercial coal increased significantly, and the volume of supplies of these raw materials to the regions decreased significantly. As a result, the owners of private houses were forced to use electrical appliances for heating, which caused a sharp increase in the load on the electrical networks and electricity consumption.

In this connection, the question arose about the need to obtain data from metering devices, electricity consumption in online providing the following requirements:

- quality and accuracy of transmitted electricity consumption data;
- accuracy of calculation of electricity consumption by hourly rates;
- the ability to monitor and check the readings of metering devices;
- compliance of the readings of electricity meters with the invoices issued for payment;
- the possibility of changing hourly tariff plans;
- lack of ways to steal electricity;
- reliability and safety of the system for monitoring, accounting and transmission of electricity consumption data.

Materials and methods

Application of the automated control system, accounting and collection of readings of metering devices of consumed electricity ASKUE.

Results and discussion

The Urker residential area is located in the Yesil district of Astana, (see Figure 1). The population is more than 24,000 people, 2 schools, a hospital, a military unit, 10 restaurants and cafes, 8 bath facilities, 35 shops, 2 covered bazaars, more than 3,000 residential real estate objects have been built [7].

Figure 1– Urker microdistrict (photo obtained from open sources)

Provision of the Urker microdistrict, goes along the VL-35 kV highway «Vozdvizhenka-Maksimovka-Porcelain Factory» in the Tselinograd district with a length of 42.5 km, with the possibility of connecting new consumers.

Currently, in the world, and now in Kazakhstan, there is a possibility of using the technology (standard) of remote connection and access to electricity metering devices using TI-IoN technology. In Kazakhstan, this standard is currently provided by the mobile operator Kcell (Beeline and Tele2 are working in this direction). For the technology, in the case of organizing direct access to objects, it should be possible to organize your own IP address [7].

The disadvantages of direct access include:

- the presence of a fixed ip address in the network (binding to the provider);
- limitation of connections to the device (lack of traffic, quality of mobile channels).

These disadvantages can be eliminated by storing data in cloud technologies and using Nbi technology.

The main advantages of Quieter technology are:

- the ability to connect about 100,000 iOS devices to one cellular station (higher than other standards);
- the ability to analyze IoT data using Big Data methods.
- increase the coverage area;
- improving the quality of the network [8].

Mercury 230 metering devices installed in private homes do not have the ability to keep records and control the electricity consumed remotely using mobile technologies. Readings of consumed electricity from metering devices are taken by technical personnel, once a month. Since 2015, AREK Astana JSC has started replacing Mercury 230 metering devices with Russian-made CE 303 energy meters that support the possibility of automatic metering and data collection of electricity consumption (see Figure 2).

«The CE 303 energy meter is a three-phase, universal transformer or direct connection (depending on the version) and is designed to measure active and reactive electric energy, active, reactive and full power, energy specific losses, voltage frequency, phase shift angle, RMS voltage and current strength in three-phase four-wire alternating current circuits and the organization of multi-tariff electricity metering» [9].

Technical data are given in Table 1.

The main disadvantages of the energy meter meter CE 303 include:

Figure 2 – Electric energy consumption metering devices
Energy meter CE 303

- lack of constant access and connection in automatic mode due to the low signal level of the base stations of cellular operators;
- the number of subscribers served by the sectors of each base station far exceeds the possibilities of high-quality services for consumers of the service;
- it is not possible to support the VB-IoT technology.
- In Kazakhstan, a static meter (electronic) ORMAN is produced similar in technical characteristics to the CE 303 Energy Meter device [10]. The functionality of the metering device provides for the use of various interface devices to ensure data transmission (see Figure 3).

Figure 3 – ORMAN electric energy consumption meter
(photo obtained from open sources)

The technical characteristics of the electricity consumption meter are presented in Table 1.

The analysis of the above presented metering devices shows that they all have various disadvantages and one common one is that it is not possible to use NV–IoT technology.

Table 1 – Technical characteristics of metering devices

Functions	ОРМАН	SAURES	Энергомера СЕ 303	Меркурий 230
Number of tariff zones	4+1	4+1	4+1	4
Accuracy class	1,0	1,0	05S,1	1,0
Interface	RS485, infrared port, plc, GPRS, RF-868, loRaWan	RS485 – 2шт., RS232 – 2., Ether-net – 1p., CAN – 1p., built-in GPRS модем – 1p., digital/analog input – 4p., discrete outputs (Umax=400B, Imax=100mA) – 2p.	RS485 – 2шт., RS232 – 2шт., Ethernet – 1 p., CAN – 1 p., built-in GPRS модем – 1 p. digital / analog input – 4p, optoport, plcG3	RS-485; CAN
Average operating time to failure	210000 h	200000 h	210000 h	
Verification interval	8 years	6 years	5 years	10 years
Service life	24 years	25 years	25 years	25 years
Guarantee	1,5 years	1,5 years	3 years	1,5 years

Price in tenge	46000	63000	57000	31200
Standards support	GSM	GSM, NB-IoT, LTE	GSM,	
Manufacturer	Kazakhstan	Russia	Russia	Russia

SAURES electricity meters (see Figure 4) use this standard. Technical specifications are presented in Table 1.

Figure 4 – SAURES electricity meter (photo obtained from open sources)

All SAURES devices have the ability to:

- provide information on network failures, changes in current and voltage from basic parameters;
- the possibility of disconnecting electricity transmission services for late payment by consumers;
- provision of information data, both to the consumer and the supplier, on the amount of electricity consumed for a certain period in online mode, with the possibility of choosing the optimal tariff plan (if such exist) [11].

The monitoring and accounting device has the ability to automatically upload information data to the cloud or to the mail of the Service Provider and provide the consumer with access to information data stored in the cloud.

SAURES produces controllers that allow upgrading metering devices with the following interfaces [11]:

- RS-485;
- Wi-Fi interface with support for up to 8 pulse and 8 digital channels;
- NB-IoT interface with up to 8 analog and 32 digital channels. NB-IoT.

The simulation model of the organization of access to metering devices using NB-IoT technology has been developed in the MatLab software environment, using Simulink libraries and menus. The input data for the simulation is taken into account the connection of subscribers to the sectors of the base station. We assume that the number of connections to the metering devices of the base station is carried out with an intensity of 5 subscribers per minute.

The simulation model should simulate random moments of occurrence of requests and the time of their service in the channels, taking into account the following problems:

- the ability to service subscribers with the system;
- system performance;
- system maintenance failure;
- channel occupancy;
- average channel occupancy time;
- channel occupancy;
- channel downtime;
- downtime of the entire system;
- average number of requests in the queue;

Figure 5 shows a simulation model of organizing access to metering devices from a mobile base station using NB-IoT technology.

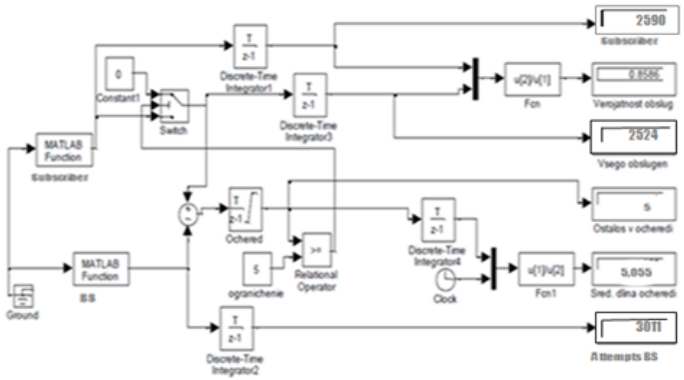


Figure 5 – Simulation model of organization of access to metering devices by a mobile base station using NB-IoT technology

The total number of base station subscribers registered in the sector of the base station is subtracted from the number of subscribers served in the «Sum» block, the remaining ones are accumulated in the «Discrete-TimeIntegrator» block.

To limit the accumulation of the «negative» queue, in the «Discrete-TimeIntegrator» block Figure 2, we check the box «Limiting output signals», then set 0 in the «Lower limit value» parameter.

The remaining «Discrete-TimeIntegrator» blocks summarize the input signals and do not require further configuration (see Figure 6).

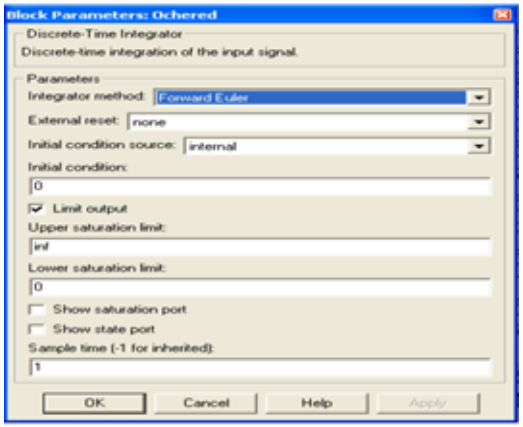


Figure 6 – Making changes to «limiting output signals»

The «RelationalOperator» block checks the dimension of the queue with a limit of 5 subscribers, if the queue is larger than 5, it sends a control signal to the «Switch» block – a switch that restricts the input, not skipping the signal from the «MATLAB Fcn» block, but skipping 0.

The results of simulation modeling of the organization of access to metering devices by a mobile base station using NB-IoT technology by a mobile base station for various time intervals are presented in Table 2.

Table 2– Results of modeling the organization of access to metering devices by a mobile base station using the NB-IoT system technology by a mobile base station for various time intervals

Simulation time	Subsriber	Verojatnostobslug	Vsegoobslug	Ostalos v ocheredi	Sred. dlinaocheredi	Attampts BS
600	2970	0,8586	2524	5	5,055	3011
1200	5940	0,8572	5049	5	5,057	6019
1800	9090	0,8541	7650	5	5,058	9024

The simulation results show that the base station provides remote access to electricity metering devices and service providers in more than 85 % of cases.

Conclusions

Metering devices with support of NB-IoT technology will allow to ensure an increase in the efficiency and quality of accounting and data collection of electricity consumption in the Urker microdistrict due to:

- accuracy, reliability, control and analysis of these indications;
- detection of cases of unauthorized interference and theft of electricity;
- the possibility of remote disconnection / connection of electricity to consumers.
- obtaining reliable bills for the consumed electricity;
- obtaining data on cases of technical losses in networks.
- saving financial costs;

With the average monthly electricity consumption of one household amounting to 400 kW/h, the introduction of metering devices with the support of NB-IoT technology, energy savings for one household will amount to 10–15 % per year or 10958 tenge (with a tariff for individuals of 15.22 tenge per 1 kW/h [12–13].

References

1 URL:https://books.google.kz /books?id=KQCBAQAAQBAJ&pg=PT197 &lpg=PT197 [Электронный ресурс].

2 **Дьяков, А. Ф.** Энергосбережение и повышение энергоэффективности при производстве и передаче электроэнергии / А.Ф. Дьяков // Энергетик. – 2012. – № 2. – С. 2–6.

3 **Акишев, К.** М и др. Организация автоматизированной системы управления учетом и контролем потребления электроэнергии на производственном объекте/ Вестник КазУТБ, 2022. – № 3. – С. 30–39.

4 **Жихарев, В. А.** Управление энергозатратами промышленного предприятия в условиях реформирования электроэнергетической отрасли: дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / В. А. Жихарев, Шухова. – Белгород, 2009. – 173 с.

5 **Забелло, Е. П.** Юридические аспекты взаимоотношений гарантирующего поставщика и потребителя в точках поставки электрической энергии / Е. П. Забелло, А. Н. Евсеев // Промышленная энергетика. – 2011. – № 6. – С. 13–17.

6 **Машкин, А. Г.** Учет и тарификация электрической энергии, идентифицированной по показателям качества, – оптимальный путь повышения эффективности ее использования / А. Г. Машкин, В. И. Пантелеев // Промышленная энергетика. – 2011. – № 5. – С. 2–5.

7 **Красник, В.** 102 способа хищения электроэнергии. – Изд. Энас, 2008. – 160 с.

8 URL:https://ru. wikipedia.org/wiki [Электронный ресурс].

9 **Тихвинский, В. О., Терентьев, С. В., Высочин, В. П.** Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced : технологии 4G, приложения и архитектура. М.Медиа-Паблишер, 2014. – 384 с.

10 URL:https://www.intelvision.ru /blog/nb-iot [Электронный ресурс]

11 **David Doswarthick, Omar Elloumi, Olivier Hersent**. M2M communications, a systems approach // John Wiley&sons, 2012.– 336 p.

12 **Тихвинский, В. О.** Перспективы внедрения технологии узкополосной передачи данных NB-IoT в сетях LTE [Электронный ресурс]. – URL:http:// niitc.ru/upload/medialibrary /f6f/f6fc0533294b19bd88d5b 5e8898c7 38a.pdf.

13 **Гребенщикова, А. А., Атея, А. С., Мутханна, А.** Подходы к интеграции технологии NB-IoT сетям 5G/IMT-2020/IMT-2020 // Информационные технологии и теле коммуникации. – Декабрь 2017. – 5. – № 4.– С. 76–88.

References

1 URL:https://books.google.kz /books?id=KQCBAQAAQBAJ&pg=PT197 &lpg=PT197 [Electronic resourse].

2 **Dyako, A. F**. Energosberezhenie I povishenie energoeffektivnosti pri proizvodstve I peredache elektroenergii [Energy saving and energy eficiency improvement in the production and transmission of electricity] // Energetik. – 2012. – No. 2. – P. 2–6.

3 **Akishev, K. M. and other.** Organizaciya avtomatizirovannoi sistemi upravleniya uchetom i kontrolem potrebleniya elektroenergii na proizvodstvennom obekte [Organization of an automated control system for accounting and control of electricity consumption at a production facility] // Vestnik KazUTB, 2022. – P. 30–39.

4 **Zhikharev, V. A.** Upravlenie energozatratami promashlennogo predpriyatiya v usloviyach reformirovaniya elektroenergeticheskoyotrasli [Energy consumption management of an industrial enterprise in the conditions of reforming the electric power industry] // dis. Candidate of Economic Sciences : 08.00.05. – Belgorod. gos. technol. V. G. Shukhov University, 2009. – 173 p.

5 **Zabello, E. P.** Uridicheskie aspekti vzaimootnoshenii garantiryushego postavshika I potrebitelya v tochkach postavki elektricheskoi energii [Legal aspects of the relationship between the guaranteeing supplier and the consumer at the points of supply of electric energy] // E. P. Zabello, A. N. Evseev. Industrial Power Engineering. – 2011. – No. 6. – P. 13–17.

6 **Mashkin, A. G.** Ychet i tarifikaziya elektricheskoya energii, identificirovannoy po pokazatelyam kachestva – optimalnii pyt povisheniya effectivnosti ee ispolzovaniya [Accounting and charging of electric energy identified by quality indicators is the optimal way to increase the efficiency of its use] // A. G. Mashkin, V. I. Panteleev. Industrial Power Engineering. – 2011. – No. 5. – P. 2–5.

7 **Krasnik, V.** 102 sposoba khisheniya elektroenergii [102 ways of stealing electricity] // Ed. Enas, 2008. – 160 p.

8 URL :https://ru.wikipedia.org/wiki [Electronic resourse].

9 **Tikhvinsky, V. O., Terentyev, S. V., Vysochin, V. P.** Seti mobilnoy svyazi LTE/LTE Advanced : technologii 4G, prilozheniya I architektyra [LTE/LTE Advanced mobile communication networks : 4G technologies, applications and architecture]. – Moscow : Media-Publisher, 2014. – 384 p.

10 URL:https://www. intelvision.ru /blog/nb-iot [Electronic resourse]

11 **David Doswarthick, Omar Elloumi, Olivier Hersent**. M2M communications, a systems approach // John Wiley&sons, 2012. – 336 p.

12 **Tikhvinsky, V. O.** Perspektivi vnedreniya technologii yzkopolosnoi peredachi dannich NB-IoT v setyach LTE [Prospects for the introduction of NB-IoT narrowband data transmission technology in LTE networks] // [Electronic resourse]. – URL:http://niitc.ru/upload /medialibrary /f6f/f6fc0533294b19bd88d5b5 e8898c7 38a.pdf

13 **Grebenshchikova, A. A., Ateya, A. S. A., Muthanna, R. V.** Podchodi integrazii technologii NB-IOT setyam 5G/IMT-2020/IMT-2020, [Approaches to the integration of NB-IOT technology to 5G/IMT-2020/IMT-2020 Networks]// INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELE COMMUNICATIONS, December, 2017. – Volume 5 – No. 4. – P. 76–88.

Material received on 20.06.23.

**К. М. Акишев[1], А. Д. Тулегулов[2], М. Байжарикова[3], Т. Аманкул[3], М. Ергеш[4]*
[1,2,4,5]Қазақ технология және бизнес университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.,
[3]М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Тараз қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ТҰТЫНУДЫ БАҚЫЛАУ, ЕСЕПКЕ АЛУ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕРДІ ЖИНАУ БОЙЫНША МІНДЕРТТЕРДІ ШЕШУ ҮШІН NB-IoT ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ МҮМКІНДЕКТЕРІ

Электр энергиясын есепке алу аспаптарын есепке алу, жинау және дұрыс көрсету проблемалары электр энергиясы үшін төлем жасауға, әсіресе шағын аудандарда, жеке меншік үй-жайлары бар шоттарды дайындау және ұсыну кезінде үлкен маңызға ие, мұнда электр энергиясын тұтынуды бақылау әрдайым қызмет тұтынушысына байланысты емес түрлі себептер бойынша қамтамасыз етілмейді. Қазіргі заманғы ақпараттық технологияларды, соның ішінде мобильді байланысты дамыту NB-IoT технологиясын қолдану арқылы шағын аудандарда электр энергиясын тұтынуды бақылау, есепке алу, деректерді жинау тиімділігін арттыруға байланысты мәселелерді шешуге ғана емес, сонымен қатар есептеу құралдарының көрсеткіштерін жинау процесін басқарудың тиімділігін арттыруға, сондай-ақ қызметтерді жеткізушінің көлік қызметтеріне шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. қызметкерлер және шығыстардың басқа баптары бойынша. Мақалада Үркер шағын ауданында қолданылатын есептеу құралдарының әртүрлі маркаларына талдау және NB-IoT технологиясын қолдайтын есептеу құралдарын қолдану ұсынылған. NB-IoT технологиясын қолдана отырып, есептеу құралдарына қол жеткізудің модельдеу моделі көрсетілген. Электр энергиясын ұрлаудың себептері мен проблемаларына байланысты мәселелер қозғалды. Мақала студенттерге, докторанттарға, инженерлерге, технологиялық процестер мен өндірістерді автоматтандыру мен басқаруға қатысы бар барлық адамдарға, сондай-ақ ЭКЕАЖ, IoT технологиясын енгізу мәселелерімен айналысатын барлық адамдарға пайдалы болады.

Кілтті сөздер: интернет заттары технологиясы, есепке алу, жинау, Бақылау, есепке алу аспабы, ұялы оператор, тиімділік, ұялы байланыс, NB-IoT технологиялары, ЭКЕАЖ технологиясы.

**К. М. Акишев[1], А. Д. Тулегулов[2], М. Байжарикова[3], Т. Аманкул[4] , М. Ергеш[5]*
[12,4,5]Казахский университет технологии и бизнеса,
Республика Казахстан, г. Астана;
[3]Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати,
Республика Казахстан, г. Тараз.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ NB-IoT ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО КОНТРОЛЮ, УЧЕТУ И СБОРУ ДАННЫХ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Проблемы с учетом, сбором и корректными показаниями приборов учета электроэнергии, имеют большое значение при подготовке и выставлении счетов на оплату за электроэнергию, особенно в микрорайонах, с частными домовладениями, где процесс контроля за потреблением электроэнергии не всегда обеспечивается по различным причинам не зависящим от потребителя услуг. Развитие современных информационных технологий в том числе мобильной связи с использованием технологии, NB-IoT, позволяет решать задачи связанные с повышением эффективности контроля, учета, сбора данных потребления электроэнергии в микрорайонах не только оперативно и качественно, но и повышают эффективность управления процесса сбора показаний приборов учета, а также снижение затрат Поставщика услуг на транспортные услуги, персонал и по другим статьям расходов. В статье представлен анализ различных марок приборов учета используемых в микрорайоне Уркер и применение приборов учета с поддержкой технологии NB-IoT. Показана имитационная модель доступа к приборам учета с использованием технологии NB-IoT. Затронуты вопросы, связанные с причинами и проблемами хищения электроэнергии. Статья будет полезна студентам, докторантам, инженерам, всем, кто имеет отношение к автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами, а также всем, кто занимается проблемами внедрения технологии АСКУЭ, IoT.

Ключевые слова: технология интернета вещей, учет, сбор, контроль, прибор учета, мобильный оператор, эффективность, мобильная связь, технологии NB-IoT, технология АСКУЭ.

МРНТИ 50.47.00

https://doi.org/10.48081/WJZH8320

О. А. Андреева[1], Т. В. Гоненко[2], М. А. Любецкая[3], М. Т. Азаматов[4]

[1,3,4]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;
[2]Омский государственный технический университет, Российская Федерация, г. Омск
*e-mail: andreyeva.oa @mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМИ АППАРАТАМИ

В данной работе рассмотрены основные аспекты разработки интеллектуальной системы управления теплообменными аппаратами на основе системы нечеткой логики с учетом технологического износа. Рассмотрение факторов, возникающих в процессе работы оборудования и влияющих на коэффициент теплопередачи, показало, что важной задачей при эксплуатации теплообменного оборудования крупных производств является оптимизация их работы за счет оперативного и диспетчерского управления. При планировании технического обслуживания и ремонтных работ необходимо учитывать информацию о степени износа (загрязнения), влияющую на изменение эксплуатационных параметров. Важной задачей является всесторонний анализ теплообменника как объекта управления для выявления всех существенных входных, выходных и возмущающих переменных. Исследование эксплуатационных режимов работы теплообменного оборудования дает возможность применения оптимальных методов управления ими. Корректность определения этих параметров отразится на таких характеристиках как: энергопотребление, надежность и межремонтный срок, которые в свою очередь являются одними из важнейших показателей. Проблема выбора и разработки систем управления теплообменными аппаратами, поддерживающих в динамике условия оптимального теплообмена, является весьма актуальной. В работе рассмотрены вопросы математического моделирования тепловых процессов, с учетом технологического износа и загрязнения поверхностей оборудования. Для полученной модели объекта управления был разработан

алгоритм работы и выполнена настройка параметров регулятора на базе нечеткой логики. Результаты имитационного моделирования показали, что предложенная структура системы интеллектуального управления на базе нечеткой логики с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения Matlab/Simulink обеспечивает выполнение требуемых условий.

Ключевые слова: теплообменное оборудование, технологический износ, эксплуатационные режимы, моделирование динамического поведения, настройка регулятора, нечеткая логика.

Введение

Функционирование различных технологических объектов в энергетической, химической, металлургической, нефтегазовой, пищевой и других отраслях промышленности связно с созданием и поддержанием температурного режима, для чего необходимо осуществлять подвод или отвод тепловой энергии от рабочей среды. Эту функцию выполняет теплообменное оборудование, удельный вес которого на предприятиях нефтеперерабатывающей, химической и других отраслях промышленности составляет более 50 % [1, 2].

Нарушения в технологических процессах могут быть вызваны различными причинами, однако, наиболее распространенными факторами обычно являются колебания качества сырья, изменения температуры, недостатки управления и износ оборудования. На теплообменном оборудовании в процессе его работы со временем образуются слои накипи и другие отложения. Это приводит к снижению коэффициента теплопередачи, негативно влияет на термическое сопротивление и порождает появление неравномерных гидравлических сопротивлений в каналах пучков труб [3].

Описанные выше явления негативно виляют на эффективность работы теплообменного оборудования и снижают качество регулирования. В существующих системах регулирования теплообменниками не решается задача обеспечения оптимального теплообмена при изменении возмущающих воздействий.

В результате анализа влияния технологического износа на работу теплообменного оборудования установлено, что в связи с загрязнением и технологическим износом теплообменного оборудования со временем снижается коэффициент теплопередачи и эффективность работы контура регулирования температуры с использованием ПИД-регулятора. В результате изменения характеристик объекта управления, существующие линейные системы регулирования не могут адекватно реагировать на возмущающие воздействия, в результате чего снижается качество регулирования и требуется

вмешательство человека. В этом случае остро стоит вопрос разработки интеллектуальной системы управления с прогнозирующими моделями (MPC – Model Predictive Control), учитывающей в динамике нелинейность объекта управления [4, 5].

Материалы и методы

Внедрение методов самооптимизации, самонастройки, самодиагностики и интеллектуальной поддержки является необходимым условием разработки современных систем автоматизации. Примером являются технологии, которые предсказывают отказы и автономно запускают процессы обслуживания, или самоорганизованная логистика, которая реагирует на неожиданные изменения в производстве.

Для теплообменников основной задачей регулирования является стабилизация температуры технологического потока на выходе из теплообменника [6]. В испарителях или конденсаторах, предназначенных для испарения или конденсации технологического потока, задача регулирования сводится к поддержанию материального баланса по технологическому потоку.

В системах автоматического регулирования (САР) нестационарными объектами для осуществления заданного качества регулирования в процессе работы САР необходимо обеспечить целенаправленное изменение динамических характеристик регулирующего устройства таким образом, чтобы компенсировать нежелательные изменения свойств объекта управления. Тематика данной работы сводится к определению таких факторов и анализу их влияния на систему управления.

В большинстве случаев регулирование осуществляется изменением параметров пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов (ПИД-регуляторов). Такие подходы достаточно сложны и требуют значительного времени на подстройку, но широко применяются на практике [7, 8].

Менее распространенным, но более эффективным является способ, основанный на применении специальных адаптивных корректирующих устройств, которые включаются последовательно с регуляторами. Меняя определенным образом свои параметры, устройства корректируют динамические свойства САР и тем самым компенсируют изменение свойств объекта управления. Такие устройства наиболее эффективны в тех системах автоматического регулирования, в которых требуется обеспечить высокое быстродействие.

В работе [9] предложена адаптивная система регулирования температуры углеводородного конденсата на выходе из кожухотрубного теплообменника, включающая ПИ-регулятор и последовательное псевдолинейное корректирующее устройство динамических свойств систем

автоматического регулирования. Экспериментально показана эффективность предложенной системы регулирования, но используемая передаточная функция теплообменника не отражает снижение эффективности процессов теплообмена вследствие технологического износа.

В статье [10] авторы предлагают использовать обычный ПИД-регулятор с отрицательной обратной связью. Улучшенным вариантом управления является ПИД-регулятор с использованием дополнительного корректирующего звена.

Одним из вариантов регулирования теплообменника является схема регулирования температуры с использованием байпасной линии, как предлагают авторы статьи [11]. Это позволит регулировать режим работы теплообменника в широком диапазоне значений так, чтобы учесть даже большие изменения производительности процесса.

Исследования в области разработки адаптивных и интеллектуальных систем управления теплообменными аппаратами ведутся учёными в разных странах. Большой интерес представляют интеллектуальные системы управления на основе нечеткой логики.

Так, в работе [12] утверждается, что стандартный контур регулирования температуры кожухотрубного теплообменника является нелинейным, переменным во времени и запаздывающим по времени. Поэтому предложена система контроля температуры путем сочетания нечеткого и ПИД-регулирования.

Работа [13] описывает реализацию контроллера FLC-PID (Fuzzy Logic Controller – Proportional Integral Derivative) и стандартного контроллера PID для регулирования температуры на выходе теплообменника.

Одним из вариантов более совершенной системы управления является разработка интеллектуального управления на базе нечеткой логики с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения Matlab/Simulink. Такая система будет учитывать износ теплообменного оборудования используя информацию с виртуальных анализаторов и корректировать параметры ПИД-регулятора в зависимости от эффективности теплообмена.

Нечёткие системы позволяют повысить качество продукции при уменьшении ресурса и энергозатрат и обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию возмущающих факторов [14].

Результаты и обсуждение

Как было установлено ранее, существует необходимость в разработке адаптивной системы автоматического регулирования температуры, учитывающей в динамике снижение эффективности теплообмена и обеспечивающей более высокое быстродействие и устойчивость к возмущающим воздействиям.

Проведя анализ исторических данных технологической информации о работе теплообменных аппаратов Т-1,2,3,4 установки ХВО-3 был сделан вывод, что основным параметрическим возмущением, снижающим эффективность работы кожухотрубчатых теплообменников типа «вода-вода», является образование слоёв накипи и ржавчины [16].

Одним из вариантов применения систем с нечеткой логикой является корректировка параметров ПИД-регулятора в зависимости от различных характеристик объекта управления и сигнала обратной связи. Настройка ПИД-регулятора по формулам обычно не является оптимальной и может быть улучшена с помощью дальнейшей подстройки. Фаззи- подстройка позволяет уменьшить перерегулирование, снизить время установления и повысить робастность ПИД-регулятора [17]. Нечеткий ПИД-регулятор берет за основу классический ПИД-регулятор, который использует нечеткие правила и переменные для лучшей настройки коэффициентов ПИД-регулятора.

Структурная схема системы управления с применением нечёткой логики для подстройки коэффициентов ПИД, разработанной в пакете Fuzzy Logic Toolbox, представлена на рисунке 1.

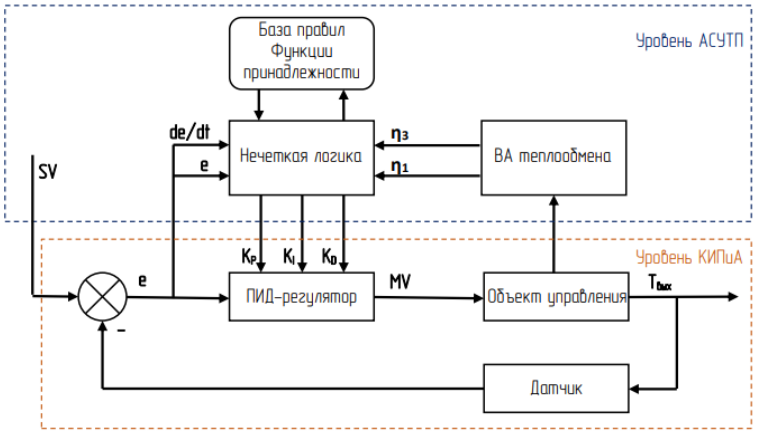


Рисунок 1 – Структурная схема предлагаемой нечёткой адаптивной системы автоматического регулирования температуры с ПИД-регулятором

На рисунке 2 представлена модель каскада теплообменных аппаратов, дополненная регулятором на базе нечеткой логики в Simulink.

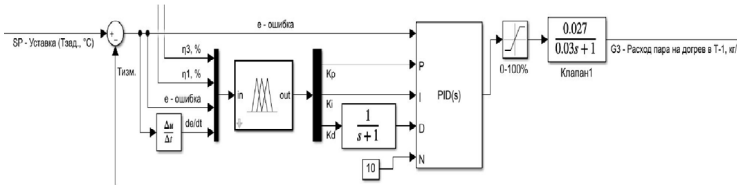


Рисунок 2 – Модель объекта с регулятором на базе нечеткой логики

На рисунке 3 приведены результаты моделирования работы системы управления в пусковом режиме.

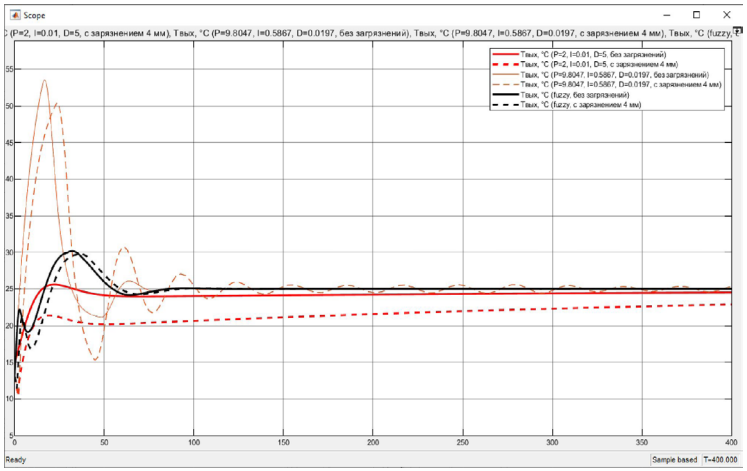


Рисунок 3 – Моделирование работы системы управления в пусковом режиме

Графики показывают, что система с настроенным классическим ПИД-регулятором в редких случаях выходит на установившийся режим работы, а с загрязненными теплообменными аппаратами вообще работает неудовлетворительно, наблюдается колебательный переходный процесс. В то же время, нечеткий ПИД- регулятор успешно адаптируется к нелинейным свойствам объекта управления и динамически изменяет коэффициенты базового регулятора, обеспечивая лучшее качество регулирования вне зависимости от изменяющихся характеристик объекта управления.

Можно сделать вывод, что нечеткая подстройка позволяет уменьшить колебательные процессы, уменьшить время выхода на уставку и повысить «мягкость» работы ПИД-регулятора во всех режимах работы.

Выводы

Предложенная модель нагрева воды в кожухотрубчатом теплообменнике учитывает тепловой процесс фазового перехода при использовании пара в качестве теплоносителя, зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости потока жидкости, а также толщину отложений на внутренних поверхностях теплообмена.

Разработанная структура системы интеллектуального управления на базе нечеткой логики обеспечивает высокое быстродействие и устойчивость к возмущающим воздействиям в течение всего срока эксплуатации теплообменников.

Список использованных источников

1 **Поникаров, И. И., Перелыгин, О. А.** Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов / И. И. Поникаров, О. А. Перелыгин, В. Н. Доронин, М. Г. Гайнуллин. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с : ил.

2 **Булыгин, Ю. А.** Теплообменные аппараты в нефтегазовой промышленности: курсовое проектирование : учеб. пособие // Ю. А. Булыгин, С. С. Баранов. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 100 с.

3 **Дытнерский, Ю. И.** Процессы и аппараты химической технологии : Изд. 2-е. в 2-х кн. : Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. – М. : Химия, 1995. – 400 с.

4 **Groover, M.** Fundamentals of Modern Manufacturing, Binder Ready Version : Materials, Processes, and Systems [Text] / M. Groover. – 6-th ed. – N.Y. : Wiley, 2016. – 944 p. – ISBN 978-1-119-1286-4.

5 Control of thermal processes – past, current and future problems and their solutions / J. Schuurmans, D. Wild, D. Staalman, H. Wu, B. Martin, P. Pronk, J. Polzer, M. Sprecher // Processes. – 08/2015. – P. 51–55.

6 **Дудников, Е. Г.** Автоматическое управление в химической промышленности // Е. Г. Дудников, А. В. Казаков, Ю. Н. Софиева, А. Э. Софиев, А. М. Цирлин. – М. : Химия, 1987. – 368 с.

7 **Солдатов, В. В., Ухаров, П. Е.** Адаптивная настройка систем управления с ПИД-регуляторами в условиях информационной неопределенности // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 8. – С. 16–20.

8 **Штейнберг, Ш. Е., Залуцкий И. Е., Сережин, Л. П., Варламов, И. Г.** Настройка и адаптация автоматических регуляторов.

Инструментальный комплект программ // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2003. – № 10. – С. 43–47.

9 **Скороспешкин, М. В., Цапко Г. П., Скороспешкин, В. Н.** Адаптивная система регулирования температуры кожухотрубного теплообменника // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 5. – С. 151–156.

10 PID Control of Heat Exchanger System / Y.B. Khare, Y. Singh. – https://doi.org/10.5120/1213-1742 // International Journal of Computer Applications. – 2010. – Vol. 8 (6). – P. 22–28.

11 Temperature Control of Shell and Tube Heat Exchanger by Using Intelligent Controllers-Case Study / P. Sivakumar, D. Prabhakaran, T. Kannadasan.– ANED : 03.3005/02802850291 // International Journal of Computational Engineering Research (IJCER). – 2012. – Vol. 2 – Issue 8. – P. 285–291.

12 Investigation Of Intelligent Pid Controller Intended For Heat Exchanger / Shanthi K, Dr. V. Bhanumathi, Ajith B. Singh, Dr. P. Manju, Dr. Narendiran S // International Journal of Future Generation Communication and Networking. – 2020. – Vol. 13 – No. 2. – P. 1642–1654.

13 Study of the fouling deposit in the heat exchangers of Algiers refinery / Harche, R., Absi, R., Mouheb, A. – https://doi.org/10.1007/s40090-014-0016-6 // International Journal of Industrial Chemistry. – 2014. – Vol. 5. – No. 16.

14 **Yesil, E., Guzelkaya, M., Eksin, I.** Internal model control based fuzzygain scheduling technique of PID controllers // World Automation Congress, June 28 – July 1, 2004. – Proceedings. – Vol. 17. – P. 501–506.

References

1 **Ponikarov, I. I., Perelygin, O. A.** Mashiny i apparaty himicheskih proizvodstv i predpriyatij stroitel'nyh materialov [Machines and apparatuses of chemical production and construction materials enterprises] /I. I. Ponikarov, O. A. Perelygin, V. N. Doronin, M. G. Gajnullin. – Moscow : Mashinostroenie, 1989. – 368 p.: il.

2 **Bulygin, Yu. A.** Teploobmennye apparaty v neftegazovoj promyshlennosti : kursovoe proektirovanie : ucheb. posobie [Heat exchangers in the oil and gas industry : course design : textbook] // Yu. A. Bulygin, S. S. Baranov. – Voronezh : FGBOU VPO «Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet», 2015. – 100 p.

3 **Dytnerskij, Yu. I.** Processy i apparaty himicheskoj tekhnologii : Izd. 2-e. v 2-h kn. : Chast' 1. Teoreticheskie osnovy processov himicheskoj tekhnologii. Gidromekhanicheskie i teplovye processy i apparaty [Processes and apparatuses of chemical technology : Ed. 2nd in 2 books : Part 1. Theoretical foundations of

chemical technology processes. Hydromechanical and thermal processes and apparatuses]. – Moscow : Himiya, 1995. – 400 p.

4 **Groover, M.** Fundamentals of Modern Manufacturing, Binder Ready Version : Materials, Processes, and Systems [Text] / M. Groover. – 6-th ed. – N.Y. : Wiley, 2016. – 944 p. – ISBN 978-1-119-12869-4.

5 Control of thermal processes – past, current and future problems and their solutions / J. Schuurmans, D. Wild, D. Staalman, H. Wu, B. Martin, P. Pronk, J. Polzer, M. Sprecher // Processes. – 08/2015. – P. 51–55.

6 **Dudnikov, E. G.** Avtomaticheskoe upravlenie v himicheskoj promyshlennosti [Automatic control in the chemical industry] // E. G. Dudnikov, A. V. Kazakov, Yu. N. Sofieva, A. E. Sofiev, A. M. Cirlin – Moscow : Himiya, 1987. – 368 p.

7 **Soldatov, V. V., Uharov, P. E.** Adaptivnaya nastrojka sistem upravleniya s PID-regulyatorami v usloviyah informacionnoj neopredelennosti [Adaptive adjustment of control systems with PID controllers in conditions of information uncertainty] // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2004. – № 8. – P. 16–20.

8 **Shtejnberg, Sh. E., Zaluckij, I. E., Serezhin, L. P., Varlamov, I. G.** Nastrojka i adaptaciya avtomaticheskih regulyatorov. Instrumental'nyj komplekt programm [Adjustment and adaptation of automatic regulators. Software Tool Kit] // Promyshlennye ASU i kontrollery. – 2003. – № 10. – P. 43–47.

9 **Skorospeshkin, M. V., Capko, G. P., Skorospeshkin, V. N.** Adaptivnaya sistema regulirovaniya temperatury kozhuhotrubnogo teploobmennika [Adaptive temperature control system for shell-and-tube heat exchanger] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2010. – T. 316. – № 5. – P. 151–156.

10 PID Control of Heat Exchanger System / Y. B. Khare, Y. Singh – https://doi.org/10.5120/1213–1742 // International Journal of Computer Applications. – 2010. – Vol. 8 (6). – P. 22–28.

11 Temperature Control of Shell and Tube Heat Exchanger by Using Intelligent Controllers-Case Study / P. Sivakumar, D. Prabhakaran, T. Kannadasan. – ANED : 03.3005/02802850291 // (IJCER). – 2012. – Vol. 2. – Issue 8. – P. 285–291.

12 Investigation Of Intelligent Pid Controller Intended For Heat Exchanger / Shanthi K. Dr. V. Bhanumathi Ajith. B. Singh, Dr. P. Manju, Dr. Narendiran S // International Journal of Future Generation Communication and Networking 2020. – Vol. 13. – No. 2. – P. 1642–1654.

13 Study of the fouling deposit in the heat exchangers of Algiers refinery / Harche, R., Absi, R., Mouheb, A. – https://doi.org/10.1007/s40090-014–0016-6 // International Journal of Industrial Chemistry. – 2014. – Vol. 5. – No. 16.

14 **Yesil, E., Guzelkaya, M., Eksin, I.** Internal model control based fuzzygain scheduling technique of PID controllers // World Automation Congress, June 28 – July 1, 2004. – Proceedings. – Vol. 17. – P. 501–506.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**О. А. Андреева[1], Т. В. Гоненко[2], М. А. Любецкая[3], М. Т. Азаматов[4]*
[1,3,4]Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;
[2]Омбы мемлекеттік техникалық университеті,
Ресей Федерациясы, Омбы қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЖЫЛУ АЛМАСУ АППАРАТТАРЫН БАСҚАРУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕСІН ҚОЛДАНУ

Бұл жұмыста технологиялық тозуды ескере отырып, анық емес логика жүйесіне негізделген жылу алмастырғыштарды басқарудың интеллектуалды жүйесін дамытудың негізгі аспектілері қарастырылады. Жабдықты пайдалану процесінде туындайтын және жылу беру коэффициентіне әсер ететін факторларды қарастыру ірі өндірістік объектілердің жылу алмасу жабдықтарын пайдалану кезінде олардың жұмысын жедел-диспетчерлік басқару арқылы оңтайландыру маңызды міндет болып табылатындығын көрсетті. Техникалық қызмет көрсету және жөндеу жұмыстарын жоспарлау кезінде пайдалану параметрлерінің өзгеруіне әсер ететін тозу (ластану) дәрежесі туралы ақпаратты ескеру қажет. Маңызды міндет-барлық маңызды кіріс, шығыс және мазасыз айнымалыларды анықтау үшін басқару объектісі ретінде жылу алмастырғышты жан-жақты талдау. Жылу алмасу жабдықтарының жұмыс режимдерін зерттеу оларды басқарудың оңтайлы әдістерін қолдануға мүмкіндік береді. Бұл параметрлерді дұрыс анықтау келесі сипаттамаларға әсер етеді: қуат тұтыну, сенімділік және жөндеу уақыты, бұл өз кезегінде ең маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылады. Динамикадағы оңтайлы жылу алмасу жағдайларын қолдайтын жылу алмастырғыштарды басқару жүйелерін таңдау және дамыту мәселесі өте өзекті. Мақалада технологиялық тозуды және жабдық беттерінің ластануын ескере отырып, жылу процестерін математикалық модельдеу мәселелері қарастырылады. Алынған басқару объектісінің моделі үшін жұмыс алгоритмі жасалды және контроллердің параметрлері бұлыңғыр логика негізінде түзетілді. Модельдеу нәтижелері Fuzzy Logic Toolbox пакетін Matlab/Simulink бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, түсініксіз логикаға негізделген интеллектуалды басқару жүйесінің ұсынылған құрылымы қажетті шарттардың орындалуын қамтамасыз ететіндігін көрсетті.

Кілтті сөздер: жылу алмасу жабдықтары, технологиялық тозу, пайдалану режимдері, динамикалық мінез-құлықты модельдеу, реттегішті орнату, бұлыңғыр логика.

**O. Andreyeva[1], T. Gonenko[2], M. Lyubetskaya[3], M. Azamatov[4]*
[1,3,4] Toraighyrov University, Republic Kazakhstan, Pavlodar;
[2]Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk.
Material received on 20.06.23.

APPLICATION OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR HEAT EXCHANGERS

In this paper, the main aspects of the development of an intelligent control system for heat exchangers based on a fuzzy logic system, taking into account technological wear and tear, are considered. Consideration of the factors arising during the operation of the equipment and affecting the heat transfer coefficient showed that an important task in the operation of heat exchange equipment of large production facilities is to optimize their operation through operational and dispatching control. When planning maintenance and repair work, it is necessary to take into account information about the degree of wear (contamination) that affects the change in operational parameters. An important task is a comprehensive analysis of the heat exchanger as a control object to identify all significant input, output and disturbing variables. The study of operational modes of operation of heat exchange equipment makes it possible to apply optimal methods of managing them. The correctness of the determination of these parameters will affect such characteristics as: energy consumption, reliability and repair time, which in turn are among the most important indicators. The problem of choosing and developing control systems for heat exchangers that support optimal heat exchange conditions in dynamics is very relevant. The paper considers the issues of mathematical modeling of thermal processes, taking into account technological wear and contamination of equipment surfaces. For the resulting model of the control object, an algorithm of operation was developed and the parameters of the controller were adjusted based on fuzzy logic. The simulation results showed that the proposed structure of the intelligent control system based on fuzzy logic using the Fuzzy Logic Toolbox package of Matlab/Simulink software ensures the fulfillment of the required conditions.

Keywords: heat exchange equipment, technological wear, operating conditions, dynamic behavior modeling, adjustment of the regulator, fuzzy logic.

МРНТИ 44.41

https://doi.org/10.48081/WKNP9971

М. Н. Әмірхан[1], К. А. Искакова[2]

[1]Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы;
[2]Институт космической инженерии и технологий,
Республика Казахстан, г. Алматы
*e-mail : m.amirkhan@aues.kz

ТРЕКЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Солнечный трекер (Solar tracker) – устройство, предназначенное для отслеживания положения Солнца и ориентирования несущей конструкции таким образом, чтобы получить максимальный КПД от солнечных батарей (или других устройств, установленных на трекере). Концепция трекера предельно проста – по нескольким датчикам контроллер определяет оптимальное положение для солнечной батареи и заставляет серводвигатель поворачивать платформу с устройством в необходимую сторону.

В разрезе использования таких устройств в фотоэлектрических системах, трекеры применяются для отслеживания положения Солнца и периодического поворота солнечных панелей для максимизации выработки электроэнергии на протяжении дня.

Трекеры для солнечных батарей бывают нескольких конфигураций, руководствуются различными алгоритмами при выборе направления, имеют разные приводные механизмы. Несмотря на массу возможных различий между трекерами, чаще всего они делятся на два типа – однокоординатные и двухкоординатные.

Ключевые слова: солнечный трекер, батарея, серводвигатель, контроллер, фотоэлектрические, ориентация.

Введение

Наша цель при создании этого проекта, безусловно, состоит в том, чтобы иметь возможность масштабировать разработанное устройство и использовать его соответствующим образом. Функциональные возможности панели автоматизированного сбора пуповины огромны.

Среди важных ключевых особенностей проекта:

1) контроль света и возможность двигаться к нему;

2) получение экологически чистого источника энергии;
3) источник питания;
4) устойчивое и независимое энергоснабжение;
5) использование бесплатного источника энергии;
6) как можно больше заряда заката;
7) низкая потребляемая мощность;
8) высокая износостойкость.

В статье мы рассмотрим конструкцию солнечной панели на основе платы Arduino Nano и структуру ее изготовления, которая движется с положением солнца (после солнечного света), чтобы максимизировать количество энергии, вырабатываемой солнечной панелью (поскольку она устанавливается каждый раз, когда свет падает). Схема нашего устройства в нашем проекте основана на использовании двух фоторезисторов для автоматического поворота солнечной панели к значительному солнечному свету, для обнаружения света и серводвигателя.

В этом проекте фоторезисторы обслуживаются на основе детекторов света. Если мы направим свет на фоторезистор, мы можем заметить, что его сопротивление уменьшается. По этой причине мы можем заметить, что фоторезисторы часто используются в различных детекторах света или темноты.

Таблица 1 – Необходимые детали при составлении данного диссертационного проекта

Название	Количество
Arduino Nano	1
Фоторезистор	4
Солнечная панель	1
Резисторы	2
Сервомотор	1
Батарея	1

Материалы и методы

Arduino NANO – это компактная платформа для прототипирования микроэлектронных устройств, предназначенная для использования с платой.

Основой Arduino Nano является микроконтроллер на базе atmega328, логический Чип для обработки данных на частоте 16 МГц, на плате 8 аналоговых и 14 цифровых контактов общего назначения, а также все необходимые интерфейсы: I2C, SPI и UART.

Технические характеристики:

- рабочее напряжение: 4.8 В (~5 В);
- вес: 9 г;
- размер: 22.2 x 11.8 x 31 мм;
- скорость работы: 0,1 с / 60 градусов;
- крутящий момент: 1,8 кгс * см;
- ширина мертвой зоны: 10 мкс;
- диапазон температур: 0 °C–55 °C.
- Для создания этого проекта необходимы следующие компоненты:
- Серводвигатель SG90;
- Arduino Uno;
- соединительные провода;
- плата за местоположение;
- связь.
- Микро-серводвигатель SG90 имеет 3-проводной интерфейс, где соединения должны выполняться следующим образом:
- красный провод-В;
- коричневый провод-земля;
- желтый провод-цифровое соединение 9.

Таблица 2 – Разница между Arduino UNO и Arduino Nano

Название	Процессор	Входное напряжение	Скорость процессора	Аналоговый вход/выход	Цифровая IO / PWM	EEPROM / SRAM [кБ]	Вспышка	USB
Uno	ATmega 328P	5V / 7-12V	16 MHz	6 / 0	14 / 6	1 / 2	32	тұрақты
Nano	ATmega 328P	5V / 7-12V	16 MHz	8 / 0	14 / 6	1 / 2	32	mini

Для программирования Uno вам понадобится обычный USB-кабель, а для Nano-мини-USB-кабель. Техническое различие между Uno и Nano показано ниже.

Таблица 3 – Разница между Arduino Nano и Arduino Mega

Название	Процессор	Входное напряжение	Скорость процессора	Аналоговый вход/выход	Цифровая IO / PWM	EEPROM / SRAM [кБ]	Вспышка	USB
Mega	ATmega 2560	5V / 7-12V	16 MHz	16 / 0	54 / 15	4/ 8	256	тұрақты
Nano	ATmega 328P	5V / 7-12V	16 MHz	8 / 0	14 / 6	1 / 2	32	mini

Плата Arduino разработана таким образом, что новичкам очень легко начать работу с микроконтроллерами. Эта доска идеально подходит для макета, и с составами очень легко работать. Начнем с питания доски.

USB-разъем: подключите мини-USB-разъем к зарядному устройству телефона или компьютеру с помощью кабеля, и он будет потреблять энергию, необходимую для использования платы.

Vin Pin: VIN pin может поставляться с нерегулируемым 6–12V для электрической платы. Встроенный регулятор напряжения регулирует его до +5 В.

+ 5V Pin: если у вас есть регулируемый источник питания +5V, вы можете предоставить его непосредственно на +5V Arduino pin.

Ваша нано-плата имеет в общей сложности 14 цифровых подключений и 8 аналоговых подключений. Цифровые контакты можно использовать для сопряжения датчиков с входными контактами или для управления нагрузкой, используя их в качестве выходных контактов. Вы можете использовать простые функции, такие как pinMode() и digitalWrite (), для управления их работой. Для цифровых соединений рабочее напряжение составляет 0 В и 5 В. Аналоговые контакты могут измерять аналоговое напряжение от 0 до 5 В, используя любой из 8 аналоговых контактов с помощью простой функции liken analogRead.

Контакты SPI 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) и 13 (SCK): эти контакты используются для подключения SPI.

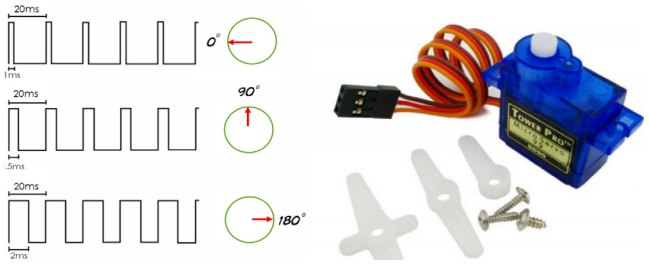


Рисунок 1 – Вид серводвигателя SG90

В этом проекте мы используем популярный серводвигатель SG90 и тестируем поворот серводвигателя с одного конца на другой. Мы также используем только один серводвигатель, чтобы привести его в движение с помощью источника питания Arduino SG90-серводвигателя, который может вращаться примерно на 180°. Кроме того, он очень маленький и легкий.

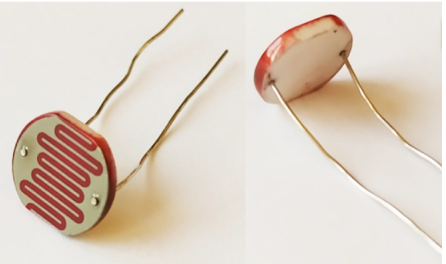


Рисунок 2 – Внешний вид фоторезистора

Результаты и обсуждение

Для создания автоматизированной солнечной панели использовались следующие электронные компоненты и материалы:

1 Arduino nano;

2 Servo Motor MG Towers 90 2x;

3 Солнечная панель 13x13см;

4 Фоторезистор 10кОм 4x.

Давайте познакомимся с каждым отдельно.

Причина, по которой я выбрал эту платформу, заключается в том, что она небольшого размера и очень удобна в использовании.

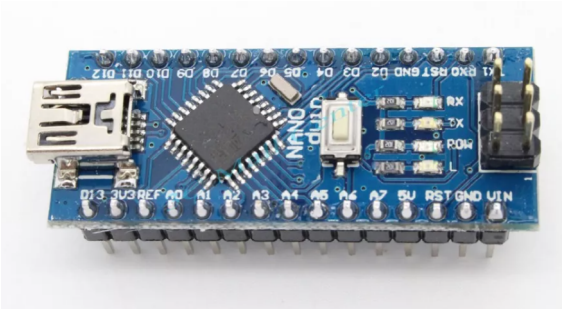


Рисунок 4 – Одна из плат Nano Arduino

Сервопривод вся схема управления сервоприводом находится внутри корпуса, управляющие сигналы и питание обычно передаются по трем проводам: заземление, напряжение питания и управляющий сигнал.

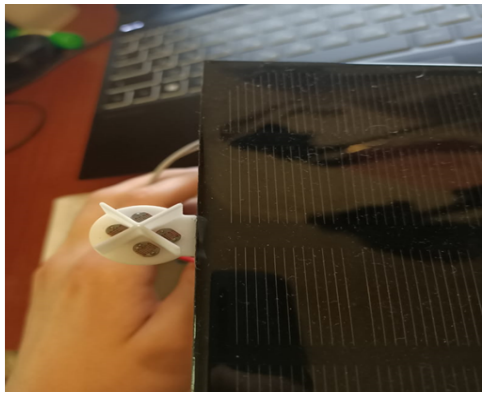


Рисунок 5 – Размещение фоторезисторов на солнечной панели

Фоторезисторы прочно прикреплены к корпусу, с которыми стоит работать, так это их точность позиционирования на платформе: теперь они не смотрят перпендикулярно вверх, что может расстроить перфекционистов и немного нарушить точность вращения.

Немного схемы: подключение светочувствительных элементов осуществляется по схеме делителя напряжения, для которой требуются резисторы, указанные в перечне элементов. Все фоторезисторы припаяны к общему контакту, подключенному к источнику питания Arduino 5 В. Для удобства и эстетики ножки фоторезисторов припаяны к контактам двух трехжильных изолированных проводов (один контакт остался неиспользованным и скрытым). Детали всех схем можно увидеть на диаграмме ниже.

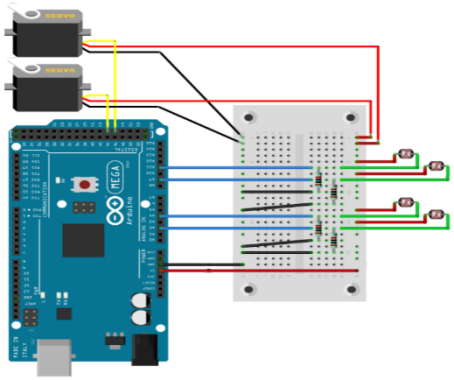


Рисунок 6 – Схема прибора автоматизации солнечных панелей

В процессе сборки проекта мы поставили 4 фоторезистора. В нашей работе работа фоторезистора заключается в приеме электроэнергии и повороте солнечной панели к свету через серводвигатели.

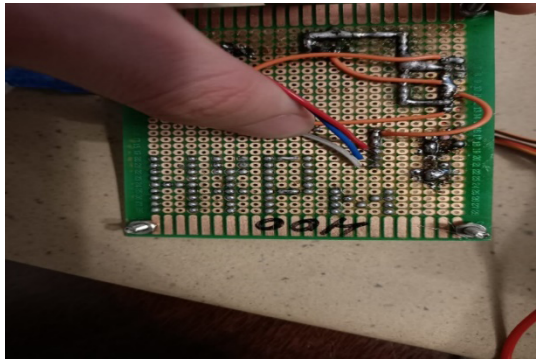


Рисунок 7 – Процесс составления проекта

После запуска системы вы можете получить информацию о внутренней температуре и влажности теплицы на экране, а также результаты о температуре и влажности почвы на поверхности дисплея. Вы можете увидеть это на изображении ниже, где вы управляете командой, чтобы вставить ее в миниатюру. Код написан на языке программирования Python. Мы передаем сигналы из библиотеки Python через реле для каждого вывода. Связь 27 отвечает за отопление, 22 за охлаждение и 23 за капельное водоснабжение.

Рисунок 8 – Автоматизация работы солнечной панели


```
#include <Servo.h> |//
Servo pan;
Servo tilt;
int init_pan = 90;
int init_tilt = 90;
int error = 5;
int servo1=3;
int servo2=5;
int s1 = A0;
int s2 = A1;
int s4 = A2;
int s3 = A3;
int sv1 = 0;  //down
int sv2 = 0; //up
int sv3 = 0; //left
int sv4 = 0;//right
void setup() {
```

Рисунок 9 – Библиотека серводвигателя

На рисунке 9 мы загружаем специальную библиотеку на нано-серводвигатель Arduino.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(s1, INPUT);
  pinMode(s2, INPUT);
  pinMode(s3, INPUT);
  pinMode(s4, INPUT);
  pan.attach(servo1);
  tilt.attach(servo2);
  pan.write(init_pan);
  tilt.write(init_tilt);
}
```

Рисунок 10 – Запись фоторезисторов на аналоговый пин

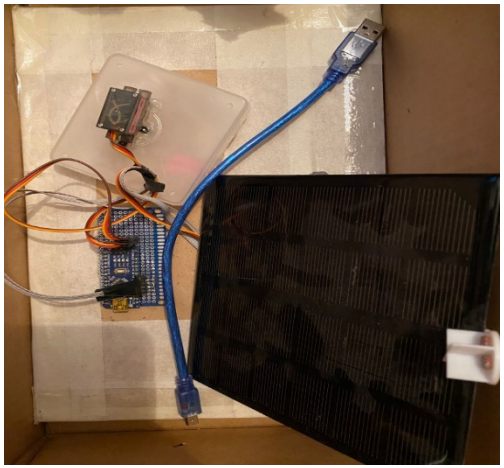


Рисунок 11 – Заключительный вид устройства

Выводы

Схема нашего устройства в нашем проекте основана на использовании двух фоторезисторов для автоматического поворота солнечной панели к значительному солнечному свету, для обнаружения света и серводвигателя.

В этой статье фоторезисторы обслуживаются на основе детекторов света. Если мы направим свет на фоторезистор, мы можем заметить, что его сопротивление уменьшается. По этой причине мы можем заметить, что фоторезисторы часто используются в различных детекторах света или темноты.

В нашем проекте четыре фоторезистора будут размещены в четырех углах солнечной панели, а серводвигатель будет использоваться для поворота солнечной панели на свет.

Список использованных источников

1 **Айванхов, Т. К.** Солнечной цивилизации / – М. : Наука, 2011. – 160 с.

2 Платформа ChatGPT [Электронный ресурс]. – https://chat.openai.com/chat.

3 **Редькин, П. П.** 32/16-битные микроконтроллеры ARM7 семейства AT91SAM7 фирмы Atmel. – 132 с.

4 **Блатова, Т. А.** Управление инновационным развитием отрасли информационно-телекоммуникационных технологий // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : сборник научных статей в 2 томах. – 2015. – С. 709–713.

5 **Кашкаров, А. П.** Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. Книга по требованию, 2011. – 144 с.

6 **Барретт, С. Ф.** Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12/HCS12 с применением языка С. – М. : ДМК, 2014. – 640 с.

7 **Евстифеев, А. В.** Микроконтроллеры AVR семейства Tiny, 2016. – 432 с.

8 **Иоффе, А. Ф.** Избранные труды (Том 2). Излучение, электроны, полупроводники : моногр.– М. : Наука, 1976. – 552 с.

9 **Кохц.** Измерение, управление и регулирование с помощью PIC микроконтроллеров (+CD-ROM) - М. : МК-Пресс, 2017. – 304 с.

10 **Редькин, П. П.** – М. : Додэка, 2017. – 704 с. Волгин, А. Метод солнечных возвращений. – М. : Мир,2013. – 232 с.

11 **Ансельм, А. И.** Введение в теорию полупроводников. – 2008. – 624 с.

12 **Ансельм, А. И.** Введение в теорию полупроводников. – М. : Наука, 1978. – 616 с.

13 **Борисов, Е.** Ключ к солнцу. Рассказы о полупроводниках. – Л. : Молодая Гвардия, 1997. – 304 с.

14 **Ормонт, Б. Ф.** Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников.– М. : Высшая школа, 1975. – 490 с. Развитие теплиц [Электронный ресурс]. – https://glass-house.ru/information/stati/istoriya-vozniknoveniya-teplits/

15 **Ансельм, А. И.** Введение в теорию полупроводников.– М. : Огни, 1978. – 770 с.

References

1 **Ajvankhov, T. K** Solnechnoj czivilizaczii Solar civilization]. – Moscow : Nauka, 2011. – 160 p.

2 Platforma ChatGPT [ChatGPT platform] [Electronic resourse]. – https://chat.openai.com/chat.

3 **Red`kin, P. P.** 32/16-bitny`e mikrokontrollery` ARM7 semejstva AT91SAM7 firmy` Atmel [32/16-bit microcontrollers ARM7 family AT91SAM7 firm Atmel]. – 132 p.

4 **Blatova, T. A.** Upravlenie innovaczionny`m razvitiem otrasli informaczionno-telekommunikaczionny`kh tekhnologij [Management of innovation development of information and telecommunication technologies industry] // Actual problems of infotelecommunications in science and education : collection of scientific papers in 2 volumes. – 2015. – P. 709–713.

5 **Kashkarov, A. P.** Vetrogeneratory`, solnechny`e batarei i drugie polezny`e konstrukczii [Wind generators, solar panels and other useful constructions]. Book on Requirement, 2011. – 144 p.

6 **Barrett, S. F.** Vstraivaemy`e sistemy`. Proektirovanie prilozhenij na mikrokontrollerakh semejstva 68HC12/HCS12 s primeneniem yazy`ka C [Embedded Systems. Designing applications on 68HC12/HCS12 family microcontrollers using C language. – Moscow : DMK, 2014. – 640 p.

7 **Evstifeev, A. V.** Mikrokontrollery` AVR semejstva [AVR family microcontrollers]. – Tiny, 2016. – 432 p.

8 **Ioffe, A. F.** Izbranny`e trudy` (Tom 2). Izluchenie, e`lektrony`, poluprovodniki : monogr. [Selected works (Vol. 2). Radiation, electrons, semiconductors : monograph. – Moscow : Nauka, 1976. – 552 p.

9 **Kokhcz** Izmerenie, upravlenie i regulirovanie s pomoshh`yu PIC mikrokontrollerov (+CD-ROM) [Kohtz Measurement, control and regulation with PIC microcontrollers (+CD-ROM). – Moscow : MK-Press, 2017. – 304 p.

10 **Red`kin, P. P.** – Moscow : Dode`ka, 2017. – 704 p.; **Volgin, A.** Metod solnechny`kh vozvrashhenij [The method of solar returns]. – Moscow : Mir, 2013. – 232 p.

11 **Ansel`m, A. I.** Vvedenie v teoriyu poluprovodnikov [Introduction to semiconductor theory], 2008. – 624 p.

12 **Ansel`m, A. I.** Vvedenie v teoriyu poluprovodnikov [Introduction to the theory of semiconductors]. Moscow : Nauka, 1978. – 616 p.

13 **Borisov, E.** Klyuch k solnczu. Rasskazy` o poluprovodnikakh[The key to the sun. Tales of semiconductors]. – L. : Molodaya Gvardiya, 1997. – 304 p.

14 **Ormont, B. F.** Vvedenie v fizicheskuyu khimiyu i kristallokhimiyu poluprovodnikov [Introduction to the physical chemistry and crystallochemistry of semiconductors]. – Moscow : Higher School, 1975. – 490 p. Greenhouse development [Electronic resource] – https://glass-house.ru/information/stati/istoriya-vozniknoveniya-teplits.

15 **Ansel`m, A. I.** Vvedenie v teoriyu poluprovodnikov [Introduction to the theory of semiconductors]. – Moscow : Ogni, 1978. – 770 p.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**М. Н. Әмірхан[1], К. А. Искакова[2]*
[1]Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазахстан Республикасы, Алматы қ.
[2]Ғарыштық инженерия және технологиялар институты,
Қазахстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

КҮН ПАНЕЛІНЕ АРНАЛҒАН ТРЕКЕР ЖҮЙЕСІ

Күн трекері (Solar tracker) – күн батареяларынан (немесе трекерге орнатылған басқа құрылғылардан) максималды тиімділікті алу үшін күннің орналасуын бақылауға және тірек құрылымын бағдарлауға арналған құрылғы. Трекер тұжырымдамасы өте қарапайым-контроллер бірнеше датчиктерден күн батареясының оңтайлы орнын анықтайды және сервомоторды платформаны құрылғымен қажетті бағытқа бұруға мәжбүр етеді.

Мұндай құрылғыларды фотоэлектрлік жүйелерде пайдалану тұрғысынан трекерлер күннің орналасуын және күн панельдерінің мезгіл-мезгіл айналуын бақылау үшін күн бойына электр энергиясын өндіруді барынша арттыру үшін қолданылады.

Күн трекерлері бірнеше конфигурацияда келеді, бағытты таңдауда әртүрлі алгоритмдерді басшылыққа алады, әртүрлі жетек механизмдері бар. Трекерлер арасындағы мүмкін болатын көптеген айырмашылықтарға қарамастан, олар көбінесе екі түрге бөлінеді – бір координатты және екі координатты.

Кілтті сөздер: күн трекері, батарея, сервомотор, контроллер, фотоэлектрлік, бағдар.

**М. Н. Амирхан[1], К. А. Искакова[2]*
[1] Almaty University of Power Engineering and telecommunications
named after G. Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty;
[2]Institute of Space Engineering and Technology,
Republic of Kazakhstan, Almaty,
Material received on 20.06.23.

TRACKER SYSTEM FOR SOLAR BATTERY

A solar tracker is a device designed to track the position of the sun and orient the supporting structure in such a way as to obtain maximum efficiency from solar panels (or other devices installed on the tracker). The tracker concept is extremely simple – using several sensors, the controller determines the optimal position for the solar battery and forces the servomotor to turn the platform with the device in the desired direction.

In the context of the use of such devices in photovoltaic systems, trackers are used to track the position of the sun and the periodic rotation of solar panels to maximize electricity generation throughout the day.

Trackers for solar panels come in several configurations, are guided by different algorithms when choosing a direction, and have different drive mechanisms. Despite a lot of possible differences between trackers, they are most often divided into two types – single-coordinate and two-coordinate.

Keywords: Solar tracker, battery, servo motor, controller, photovoltaic, orientation.

МРНТИ 44.29.37

https://doi.org/10.48081/WZPH9374

А. Т. Балтин[1], Д. С. Ахметбаев[2], Г. Г. Таткеева[3], Г. Ж. Асаинов[4]

[1,2,3,4]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

*e-mail: baltin2016@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 20 кВ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН И МЕТОДЫ ИХ ПОВЫШЕНИЯ

Повышение надежности системы электроснабжения является ключевым вопросом в электроэнергетике и одной из актуальных задач. В системе электроснабжения традиционная распределительная сеть отвечает за снабжение существующих потребителей. Существует проблема растущей концентрации электрических нагрузок, особенно в мегаполисах, что требует повышения уровня напряжения для увеличения пропускной способности сети. В настоящее время в Республике Казахстан только в столице Астане имеется небольшой опыт эксплуатации распределительной сети 20 кВ. В данной статье рассматривается возможность использования кабелей в распределительной сети, обосновывается выбор напряжения 20 кВ для обеспечения проверенной пропускной способности кабелей в различных природных и климатических условиях. Для обеспечения надежности электрической сети обсуждаются факторы, которые могут привести к снижению показателей надежности. В статье представлены характеристики кабелей с бумажной изоляцией и сшитым полиэтиленом для сетей 20 кВ и показана зависимость оптимальной пропускной способности для данного напряжения от длины линии, что очень важно при коротких замыканиях в сетях среднего напряжения. Основываясь на полувековом опыте европейских стран, можно ожидать, что международная передовая практика по технологиям перевода существующих распределительных сетей 10 кВ на напряжение 20 кВ позволит снизить затраты и повысить надежность распределительных сетей.

Ключевые слова: напряжение 20 кВ , надежность электрической сети, пропускная способность, электрические кабели, электрические сети.

Введение

Для Республики Казахстан электроэнергетика имеет важное значение, поскольку ключевые отрасли страны, такие как металлургия и добыча нефти и газа, характеризуются высокой энергоемкостью. Соответственно, конкурентоспособность промышленности Казахстана и качество жизни населения во многом зависят от надежного и качественного энергоснабжения потребителей.

Надежность энергетических объектов означает свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1].

Применение напряжения 20 кВ в распределительной электрической сети доказано и показано как осуществимое и целесообразное с учетом быстро растущей плотности нагрузки в городских районах. Уменьшение разрыва между соседними значениями напряжения в существующей последовательности 220/110/20 кВ приводит не до использований мощности устройств в полном объеме в системе электроснабжения впоследствии [2].

Распределительная сеть среднего напряжения является основой для развития городской электрической сети. С увеличением электрической нагрузки уровень напряжения 20 кВ вместо 10 кВ становится основным и направлением развития распределительной сети в перспективе. При этом прогнозирование нагрузки является важным аспектом планирования распределительной сети. Для этого важно разработка модели, позволяющая быстро рассчитать прогнозируемое значение нагрузки на ближайшее время по данным наблюдений. Прогнозирование нагрузки для распределительной сети 20 кВ является актуальной [3].

С увеличением плотности электрической нагрузки, электрическая сеть напряжением 20 кВ стала тенденцией в распределительных сетях среднего напряжения. При этом, с точки зрения планирования электросетей, путем сравнительного анализа показателей, таких как степень напряжения, мощность короткого замыкания, пропускная способность сети, расположение подстанций и т.д. [4] и выбор распределительной сети напряжением 20 кВ требует исследования.

Основываясь на данных об отключениях распределительных линий 10 кВ и 20 кВ, которые поступают из электросети Китая, было проведено большое количество статистических анализов, где предварительный анализ работы распределительной электрической сети показывает, что основными

факторами, приводящими к сбоям в электроснабжении, являются внешние силы, метеорологические условия, неправильная эксплуатация и техническое обслуживание, качество оборудования и ошибки в процессе проектирования. Внешние силы вызвали наибольшее количество неисправностей в элементах электрической сети [5].

Материалы и методы

В отличие от изоляции воздушных линий, изоляция кабельных линий не может самовосстанавливаться. Это означает, что после возникновения повреждения оно не может быть устранено, даже если оно почти полностью компенсируется током в месте повреждения. Актуальность данного метода обусловлена проблемой интенсивного роста электрических нагрузок в густонаселенных районах, что требует увеличения мощности электросетевого оборудования за счет повышения уровня напряжения. Для распределительной сети недостаточно статистических данных, чтобы установить классифицированную связь между причинами аварий и параметрами сети. Распределительная сеть проходит через наиболее густонаселенные районы (по сравнению с передающей сетью) и поэтому подвержена воздействию множества причин.

Факторы, влияющие на снижение надежности системы электроснабжения являются отказы, вызванные износом оборудования – 35 % и влиянием климатических воздействий (атмосферные температуры окружающей среды, действие ветра, гололедные образования на проводах, вибрации и «пляска» проводов, загрязнение воздуха, влияние геомагнитных бурь) порядка 25 %. Самыми тяжелыми являются гололёдно-ветровые воздействия. Посторонние воздействия – 15 %, недостатки эксплуатации и ремонтов – 10 %, на долю дефектов изготовления оборудования приходится 9 % и дефекты монтажа 6 % соответственно [6–7]. Данные представлены на рисунке 1.

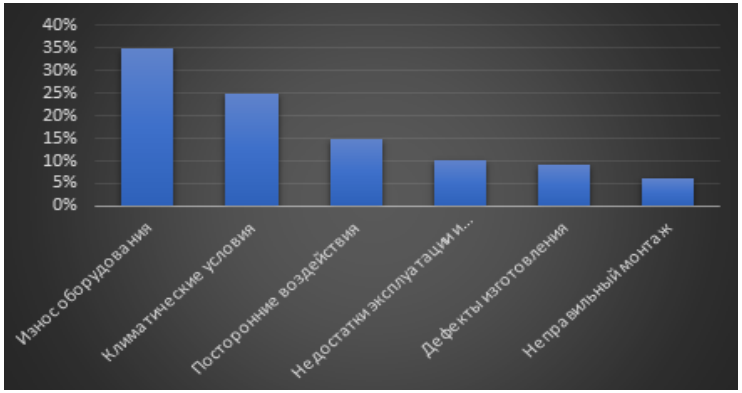


Рисунок1– Доля факторов, привлекший отказ оборудования

На данный момент для Республики Казахстан показатель износа оборудования вырос с 35 % до 60 %. Согласно данным Министерства Энергетики, средний уровень износа электросетей в конце 2020 года в Казахстане остается на уровне 60 %. Для решения изношенности электрических сетей требуются вложения значительных финансовых средств. Действующие на сегодня тарифы не позволяют провести масштабную реконструкцию и модернизацию. Поэтому энергопередающими организациями работа по снижению износа электрических сетей ведется планомерно с долгосрочным эффектом [8].

Одним из способов повышения надежности электроснабжения является модернизация и дооснащение существующих традиционных сетей 10 кВ до класса напряжения 20 кВ. Области, где в настоящее время используются сети 20 кВ, – это зоны насыщения нагрузки и схемы электроснабжения удаленных потребителей.

В настоящее время проводятся исследования по расширению масштабов преобразования сетей до уровня 20 кВ. Удвоение напряжения в сети означает, что кабель с определенным поперечным сечением, подходящий для 20 кВ, может распределять вдвое больше мощности [10].

Результаты и обсуждение

Используя эмпирический формулы можно определить экономически выгодный класс номинального напряжения сети (кВ) при длине линий электропередачи L не более 250 км и передаче мощности Pmax (МВт) не более 60 МВт можно предварительно определить по формуле Стилла [11]:

$$U_{\text{ном}} = 4{,}34 * \sqrt{L + 16P_{max}} \quad (1)$$

где $U_{\text{ном}}$ – экономически выгодный класс номинального напряжения сети (кВ),

L – длина линий,

P_{max} – максимальная мощность линий.

Используя эмпирические формулы принятые на основе выбора класса напряжения при проектировании сетей использовалась формула Стилла, для обоснования выбора номинального напряжения. На основе эмпирической формулы исследована допустимая нагрузка в зависимости от длина линии. На рисунке 2 представлена зависимость мощности от длины линий напряжением 20 кВ.

Рисунок 2– Зависимость оптимальной мощности от длины линий для класса напряжения 20 кВ

Анализ проведенных данных показывает, что передаваемая мощность по линии напряжением 20 кВ имеет допустимую длину. К примеру, что при длине линий 12 км допустимая нагрузка для передачи составляет 0,6 МВт, при длине 8 км – 0,85 МВт, а при 5 км доходит больше 1 МВт.

Концентрация нагрузок по области может быть разбросана не однородна, что дает неэффективную работу сетей 20 кВ. Предлагаемые результаты дают возможность определить выдаваемую мощность в зависимости от длины линий для эффективной работы распределительных сетей 20 кВ.

С развитием городских электросетей применение цельнокабельных распределительных сетей напряжением 20 кВ становится все более распространенным явлением. Использование кабелей обеспечивает надежность источника питания, но также приводит к тому, что ток однофазного заземляющего конденсатора легко превышает сотни ампер, что серьезно угрожает безопасной эксплуатации оборудования для распределения электроэнергии [9].

Согласно ПУЭ, силовые кабели с пластмассовой изоляцией более просты в изготовлении, удобны при монтаже и в эксплуатации. Процесс наложения пластмассовой изоляции методом экструзии (т.е. выдавливания) на токопроводящие жилы гораздо более производителен, чем изолирование методом обмотки бумажными лентами. Кроме того, отпадает необходимость в сушке и пропитке изоляции [12].

Стоит отметить, что на рынке также распространены кабели с бумажной изоляцией. Сравнительный характеристики кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) представлены в таблице 1 [12].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики кабелей на напряжение до 20 кВ с бумажной изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена(СПЭ)

Характеристики кабелей	Кабель с СПЭ изоляцией	Кабель с бумажной изоляцией
Длительно допустимая температура жилы, °С	90	60–80
Длительно допустимая температура при аварийном режиме, °С	130	80–105
Максимальная допустимая температура жилы при коротком замыканий, °С	250	130–250
Температура при прокладке без предварительного подогрева не ниже, °С	-20	0

Приведенный анализ показывает, что кабели из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелями из бумажной изоляцией имеют более высокие технические характеристики, которые приведены в длительно допустимых температурах, что немаловажно при прохождений номинальных токов, при максимально допустимых температур жилы при коротком замыканий, где токи ОЗЗ в сетях 20 кВ выше по сравнению с токами ОЗЗ 10 кВ. Согласно исследованиям, которые были проведены в программе МАТЛАБ рисунок 3, были получены данные по токам ОЗЗ в сетях 20кВ и в сетях 10 кВ, которые были представлены на рисунках 4 и 5.

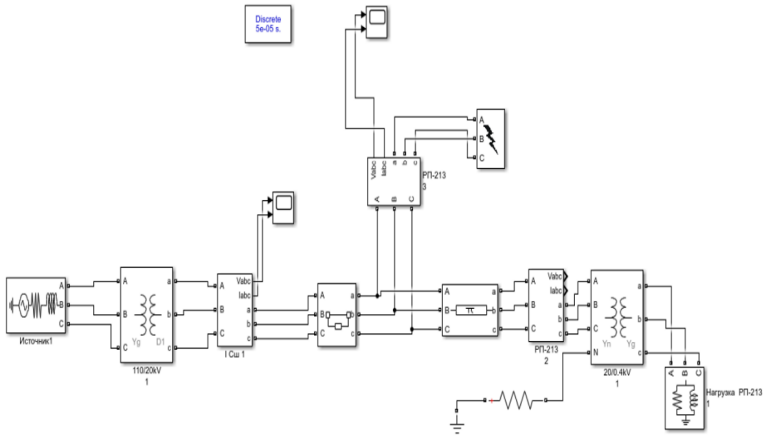


Рисунок 3 – Исходная схема сети

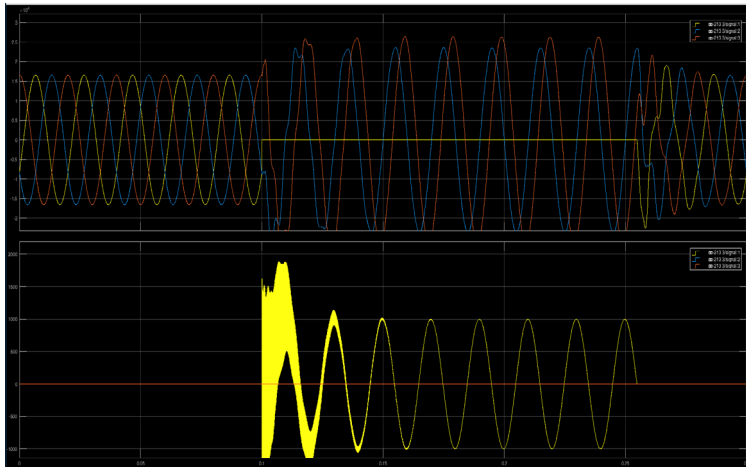


Рисунок 4 – Данные напряжений и токов при ОЗЗ в сетях 20 кВ

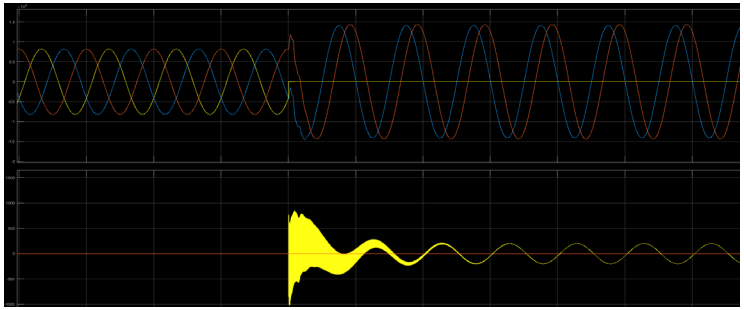


Рисунок 5 – Данные напряжений и токов при ОЗЗ в сетях 10 кВ

Согласно приведенным данным при ОЗЗ токи короткого в сетях 20 кВ в два раза больше по сравнению с токами с сетях 10 кВ, что в свою очередь требует более высокие максимальные допустимые температуры жилы при коротком замыканий, которые и обеспечивают кабели из сшитого полиэтилена.

Выводы

Инновационный мировой опыт строительства электрических сетей подтверждает, что в крупных и средних городах с высокой плотностью нагрузки распределительная сеть 20 кВ распространяется на реконструкцию старых городских районов и строительство новых городских районов. Модернизация старых распределительных сетей 20 кВ способствует экологической

устойчивости экономики и общества благодаря экономии затрат. В данной статье рассматриваются факторы, которые учитываются при использовании кабелей в распределительной сети, с учетом обоснования выбора напряжения 20 кВ для обеспечения пропускной способности предлагаемого кабеля, который хорошо зарекомендовал себя в различных природных и климатических условиях. Для обеспечения надежности электрической сети рассмотрены факторы, которые могут вызвать ухудшение показателей надежности. В статье представлены характеристики кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена для сетей 20 кВ, а также зависимость оптимальной пропускной способности для данного напряжения от длины линии. Для оптимизации и уточнения в данной работе представлены сравнительные типы кабелей, которые оказались оптимальными для предлагаемой сети 20 кВ. Определение наиболее экономичного класса номинального напряжения сети может быть сделано в зависимости от количества передаваемой мощности и расстояния длины провода или кабеля, несущего эту мощность. Разумное напряжение выбирается на основе результирующего распределения потока мощности и длины участка сети. Чем больше мощность, передаваемая по линии, и чем больше расстояние передачи, тем выше должно быть номинальное напряжение передачи в соответствии с техническими и экономическими критериями.

Список использованных источников

1 ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2016. – 28 р.

2 **Huang, L., Cheng, H., Ouyang, W., Wu, Z., Dong, Z.** 220/20 kV power supply scheme in high load density urban areas-Dianli Xitong Baohu yu Kongzhi/ Power System Protection and Control 37(20), P. 1– 6. – ISSN 1674-3415.

3 **Leiqiong, Zh., Sasa, G., Liping, G., Shipeng, L.** Study on the 20kV distribution network planning Based on load prediction-Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 6307546. – https://doi.org/10.1109/APPEEC.2012.6307546.

4 **Shu, D. S., Qin R. J., Jiang, M. Y., Wang, T. H.** The discussion of rising voltage to 20kV in urban distribution network – 2008 China International Conference on Electricity Distribution, CICED 2008 5211674. – https://doi.org/10.1109/CICED.2008.5211674.

5 **Lu, Y., Tao, F., Zhou, Zh., Gao, S., Chen, J.** Analysis of Trip Faults and Protection Measures on 10kV and 20kV Distribution Lines // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 672–674. – 2014. – P. 762–768. Submitted: 2014–08–03 Trans Tech Publications, Switzerland. Accepted. – https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.672–674.762.

6 **Sults, V., Kalcevs, G.** Concepts and Practical Neutral Earthing Modes in Latvia's 20 kV Rural Networks // Proceedings of PQ2008 6th International Conference : 2008 Electric Power Quality and Supply Reliability (August 27–29, 2008 Parnu, Estonia). – P. 187–192.

7 **Абдурахманов, А. М., Мисриханов, М. Ш., Неклепаев, Б. Н., Шунтов, А. В.** О компонентах модели отказов выключателя // Электрические станции. – 2015. – № 4. – С. 41–48.

8 Средний уровень износа электросетей в конце 2020 года в Казахстане о Новости отрасли /Пресс-центр/ АО «КОРЭМ» (Казахстанский оператор рынка электрической энергии и мощности) [Электронный ресурс]. – Korem.kz

9 **Yuan, Zh.** Research on Neutral Voltage Offset and Its Influencing Factors of 20kV Small Resistance Grounding System–7th IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application, ICHVE 2020 – Proceedings 9279425. https://doi.org/10.1109/ICHVE49031.2020.9279425.

10 **Kers, B., Vergnes, H., Coster, E.** Grid planning in the midst of several existing voltage levels // IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems 4059283. – P. 5382–5387.

11 **Ананичева, С. С., Котова, Е. Н.** Проектирование электрических сетей : учеб. пособие / С. С. Ананичева, Е. Н. Котова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 164 с. – ISBN 978-5-7996-2040-0.

12 Правила устройства электроустановок (ПУЭ) Республики Казахстан (утверждены приказом Министра энергетики Республики Казахстан №230 от 20 марта 2015 года) [Электронный ресурс]. – https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010851.

REFERENCE

1 GOST 27.002-2015 Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Reliability in technology. Terms and definitions]. – Moscow : Standartinform, 2016. – 28 p.

2 **Huang, L., Cheng, H., Ouyang, W., Wu, Z., Dong, Z.** Skhema elektrosnabzheniya 220/20 kV v gorodskih rajonah s vysokoj plotnost'yu nagruzki [220/20 kV power supply scheme in urban areas with high load density] // Dianli Sitong Baohu yu Congzhi/Protection and management of power systems. – 37(20). – P. 1–6. – ISSN 1674-3415.

3 **Leiqiong, Zh., Sasa, G., Liping, G., Shipeng, L.** Issledovanie po planirovaniyu raspredelitel'noj seti 20 kV na osnove prognozirovaniya nagruzki [Study on planning a 20 kV distribution network based on load forecasting]. – Asia-Pacific Conference on Energy and Engineering, APPEEC 6307546. – https://doi.org/10.1109/APPEEC.2012.6307546.

4 **Shu, D. S., Qin R. J., Jiang, M. Y., Wang, T. H.** Obsuzhdenie povysheniya napryazheniya do 20 kV v gorodskoj raspredelitel'noj seti [Discussion of voltage

increase up to 20 kV in the urban distribution network]. // China International Conference on Electricity Distribution, CICED. – 2008. – 5211674. – https://doi.org/ 10.1109/CICED.2008.5211674.

5 **Lu, Y., Tao, F., Zhou, Zh., Gao, S., Chen, J.** Analiz neispravnostej otklyuchenij i mer zashchity na raspredelitel'nyh liniyah 10 kV i 20 kV [Analysis of Trip Faults and Protection Measures on 10kV and 20kV Distribution Lines] // Applied Mechanics and Materials, Volumes 672–674. –2014. – P. 762–768. Sent: 2014-08-03. Trans Tech Publications, Switzerland. Accepted. – https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.672-674.762.

6 **Sults, V., Kalcevs, G.** Koncepcii i prakticheskie rezhimy zazemleniya nejtrali v sel'skih setyah Latvii napryazheniem 20 kV [Concepts and practical modes of neutral grounding in rural networks of Latvia with a voltage of 20 kV] // Proceedings of the 6th International Conference PQ2008: Electricity quality 2008 and reliability of power supply (August 27-29, 2008, Pärnu, Estonia). – P. 187–192.

7 **Abdurakhmanov, A. M., Misrikhanov, M. Sh., Neklepaev, B. N., Shuntov, A. V.** O komponentah modeli otkaza avtomaticheskogo vyklyuchatelya [Once again about the components of the circuit breaker failure model] // Electric stations. – 2015. – No. 4. – P. 41–48.

8 Srednij uroven' iznosa elektrosetej v konce 2020 goda v Kazahstane o Novosti otrasli [Average level of wear of power grids at the end of 2020 in Kazakhstan about Industry news] / Press Center JSC «KOREM» (Kazakhstan operator of the electric energy and capacity market) [Electronic resource]. – Korem.kz.

9 **Yuan, Zh.** Issledovanie smeshcheniya napryazheniya nejtrali i vliyayushchih na nego faktorov sistemy zazemleniya s nizkim soprotivleniem 20 kV [Study of the neutral voltage bias and the factors affecting it of a grounding system with a low resistance of 20 kV] // 7th IEEE International Conference on the Development and Application of High Voltage, ICHVE 2020 – Materials 9279425. – https://doi.org/10.1109/ICHVE49031.2020.927942510.

10 **Kers, B., Vergnes, H., Coster, E.** Planirovanie seti v usloviyah neskol'kih sushchestvuyushchih urovnej napryazheniya [Network planning under conditions of several existing voltage levels] // IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 4059283. – P. 5382–5387.

11 **Ananicheva, S. S. , Kotova, E. N.** Proektirovanie elektricheskih setej [Design of electrical networks] : textbook / Ananicheva, S. S., Kotova, E. N.. – Yekaterinburg : Ural un-ta, Publishing House. 2017. – 164 p. – ISBN 978-5-7996-2040-0.

12 Pravila ustrojstva elektroustanovok (PUE) Respubliki Kazahstan [Rules of electrical installations (PUE) of the Republic of Kazakhstan] (approved by Order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan No. 230 dated March 20, 2015) [Electronic resource] – https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010851

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**А. Т. Балтин[1], Д. С. Ахметбаев[2], Г. Г. Таткеева[3], Г. Ж. Асаинов[4]*
[1,2,3,4]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА 20 кВ ТАРАТУ ЖЕЛІЛЕРІНІҢ СЕНІМДІЛІГІН ТӨМЕНДЕТУДІ ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ

Электрмен жабдықтау жүйесінің сенімділігін арттыру Электр энергетикасындағы басты мәселе және өзекті міндеттердің бірі болып табылады. Электрмен жабдықтау жүйесінде дәстүрлі тарату желісі қолданыстағы тұтынушыларды қамтамасыз етуге жауап береді. Электр жүктемелерінің шоғырлануының жоғарылау проблемасы бар, әсіресе мегаполистерде, бұл желінің өткізу қабілетін арттыру үшін кернеу деңгейін жоғарылатуды қажет етеді. Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында тек Астанада ғана 20 кВ тарату желісін пайдаланудың шағын тәжірибесі бар. Бұл мақалада тарату желісінде кабельдерді пайдалану мүмкіндігі қарастырылады, әртүрлі табиғи және климаттық жағдайларда кабельдердің дәлелденген өткізу қабілетін қамтамасыз ету үшін 20 кВ кернеуді таңдау негізделеді. Электр желісінің сенімділігін қамтамасыз ету үшін сенімділік көрсеткіштерінің төмендеуіне әкелетін факторлар талқыланады. Мақалада 20 кВ желілері үшін қағаз оқшауланған және тігілген полиэтилен кабельдерінің сипаттамалары келтірілген және берілген кернеу үшін оңтайлы өткізу қабілеттілігінің желі ұзындығына тәуелділігі көрсетілген, бұл орташа кернеу желілеріндегі қысқа тұйықталу кезінде өте маңызды. Еуропа елдерінің жарты ғасырлық тәжірибесіне сүйене отырып, қолданыстағы 10 кВ тарату желілерін 20 кВ кернеуге ауыстыру технологиялары бойынша халықаралық озық тәжірибе шығындарды азайтуға және тарату желілерінің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді деп күтуге болады.

Кілтті сөздер: кернеуі 20 кВ, электр желісінің сенімділігі, өткізу қабілеті, электр кабельдері, электр желілері.

**A. T. Baltin[1], D. S. Akhmetbayev[2], G. G. Tatkeeva[3], G. Zh. Asainov[4]*
[1,2,3,4]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana.
Material received on 20.06.23.

STUDY OF RELIABILITY REDUCTION OF 20 kV DISTRIBUTION NETWORKS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN AND METHODS OF THEIR IMPROVEMENT

Improving the reliability of the power supply system is a key issue in the electric power industry and one of the urgent tasks. In the power supply system, the traditional distribution network is responsible for supplying existing consumers. There is a problem of increasing concentration of electrical loads, especially in megacities, which requires increasing the voltage level to increase the network capacity. Currently, in the Republic of Kazakhstan, only in the capital Astana, there is little experience in operating a 20 kV distribution network. This article discusses the possibility of using cables in the distribution network, justifies the choice of a voltage of 20 kV to ensure the proven capacity of cables in various natural and climatic conditions. To ensure the reliability of the electrical network, the factors that can lead to a decrease in reliability indicators are discussed. The article presents the characteristics of paper-insulated and cross-linked polyethylene cables for 20 kV networks and shows the dependence of the optimal throughput for a given voltage on the length of the line, which is very important for short circuits in medium voltage networks. Based on the half-century experience of European countries, it can be expected that international best practices on technologies for converting existing 10 kV distribution networks to 20 kV voltage will reduce costs and increase the reliability of distribution networks.

Keywords: voltage 20 kV, reliability of the electrical network, capacity, electrical cables, electrical networks.

МРНТИ 44.29.31

https://doi.org/10.48081/TCSZ9753

А. С. Барукин[1], Б. Е. Машрапов[2], М. Я. Клецель[3]
[1, 2, 3]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар
*e-mail: alexbarukin@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ТРАНСФОРМАТОРОМ С 2N ВТОРИЧНЫМИ ОБМОТКАМИ И 2N ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

Обосновывается актуальность разработки не использующих трансформаторы тока ресурсосберегающих дифференциальных защит преобразовательных установок. Отмечается, что одним из направлений решения этой задачи является использование магниточувствительных элементов. Упоминается, что в НАО «Торайгыров университет» ранее была предпринята попытка построить устройство дифференциальной защиты преобразовательных установок без трансформаторов тока на герконах. Установлено, что до настоящего времени не предлагались дифференциальные защиты для преобразовательных установок с трансформатором с 2n вторичными обмотками (где n – количество вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «звезду» и «треугольник») и 2n выпрямителями. Предлагается запатентованный способ построения такой защиты. Способ заключается в измерении ЭДС на выводах катушек индуктивности, установленных вблизи шин всех фаз со стороны низшего напряжения трансформатора преобразовательной установки, в уравнивании и вычитании ЭДС, наводимых токами в этих шинах, полученных от катушек для одноименных фаз, а также в последующем сравнении полученных разностей с эталонной величиной. Приведена модель устройства, реализующего предлагаемый способ построения защиты, и проанализировано его поведение в различных режимах работы преобразовательной установки. Представлены осциллограммы, полученные путем моделирования при пробое и при обрыве диода одного из 2n выпрямителей.

Ключевые слова: преобразовательная установка, трансформатор, дифференциальная защита, катушка индуктивности, шина.

Введение

В качестве защиты от коротких замыканий в преобразовательных установках (ПУ) традиционно используется максимальная токовая защита без выдержки времени [1], которая отличается простотой, надежностью и невысокой стоимостью, но в ряде случаев обладает недостаточной чувствительностью из-за необходимости отстройки от токов нагрузки, что может приводить к серьезным повреждениям ПУ (вплоть до её полного выхода из строя). Более чувствительными могут быть дифференциальные защиты (ДЗ), разработкам которых посвящены работы, выполненные в России, США, Китае и Швеции [2–6]. Однако во всех этих защитах используются металлоемкие трансформаторы тока (ТТ), имеющие и другие общеизвестные недостатки. Поэтому, начиная с 2000 года, на Международных конференциях по большим энергетическим системам (CIGRE) проблема построения устройств релейной защиты без использования ТТ выделяется как одна из принципиально нерешенных задач мировой электроэнергетики [7–9]. Одним из направлений решения этой задачи является использование магниточувствительных элементов. Так, в НАО «Торайгыров университет», начиная с 80-х годов прошлого века, разработаны принципы и ряд устройств токовых, дифференциальных и дистанционных защит на таких элементах, в том числе была предпринята попытка построить устройство дифференциальной защиты ПУ без ТТ на герконах [10]. Однако, как показала патентная проработка, до настоящего времени не предлагались дифференциальные защиты для ПУ с трансформатором с 2n вторичными обмотками (где n – количество вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «звезду» и «треугольник») и 2n выпрямителями. В данной работе предлагается способ защиты таких установок, и устройство, реализующее его с помощью катушек индуктивности.

Материалы и методы

Способ защиты на катушках индуктивности [11] заключается в том, что вблизи 6n шин, соединяющих с 2n выпрямителями выводы 2n вторичных обмоток трансформатора ПУ со стороны его низшего напряжения, устанавливают 6n катушек индуктивности (КИ) и измеряют ЭДС на их выводах (по которым судят о токах в этих шинах). Сдвигают по фазе ЭДС, полученные от КИ, установленных вблизи шин, соединяющих с n выпрямителями выводы n вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «звезду». Из полученных после сдвига фаз ЭДС вычитают ЭДС, полученные от КИ, установленных вблизи шин, соединяющих с n выпрямителями выводы n вторичных обмоток трансформатора, соединенных в «треугольник». Эти разности сравнивают с эталонной величиной, и, если хотя бы одна из них превышает эту величину, подают сигнал на отключение ПУ от сети.

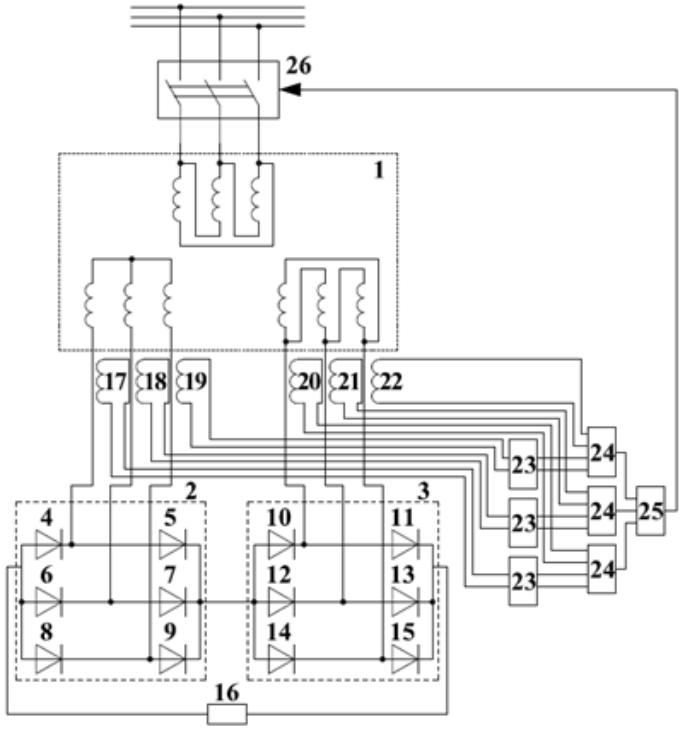


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства защиты

Результаты и обсуждение

Рассмотрим реализацию этого способа для ПУ, например, с трансформатором 1 (рисунок 1) мощностью 2,5 МВ • А (номинальное напряжение первичной обмотки 10 кВ) с двумя вторичными обмотками, двумя выпрямителями и выпрямленным напряжением 450 В, с соединением обмоток: со стороны высшего напряжения «треугольник»; со стороны низшего напряжения трансформатора одна обмотка – «звезда», другая – «треугольник». Вторичные обмотки трансформатора 1 подключены к выпрямителям 2 и 3, которые соединены по мостовой схеме Ларионова, содержат по 6 диодов 4–9 и 10–15, соответственно, и включены последовательно. Выходы выпрямителей 2 и 3 подключены к нагрузке 16 мощностью 1,8 МВт. При этой нагрузке токи в шинах, соединяющих выводы обмоток трансформатора со стороны его низшего напряжения с выпрямителями, составляют (получены с помощью модели, рассмотренной ниже): со стороны вторичной обмотки, соединенной в «звезду»,

$$I_{2YA} = 4000e^{-j44^0}\ \text{А},\ \ I_{2YB} = 4000e^{j196^0}\ \text{А},\ \ I_{2YC} = 4000e^{j76^0}\ \text{А};$$

со стороны вторичной обмотки, соединенной в «треугольник»,

$$I_{2\Delta A} = 4000e^{-j14^0}\ \text{А},\ \ I_{2\Delta B} = 4000e^{j226^0}\ \text{А},\ I_{2\Delta C} = 4000e^{j106^0}\ \text{А}.$$

Для измерения и преобразования в ЭДС индукции магнитного поля, созданного токами в шинах, соединяющих вторичные обмотки трансформатора с выпрямителями, могут быть использованы КИ 17–22 с количеством витков $w = 8000$, площадью поперечного сечения $s = 0,0007\ \text{м}^2$ и $l = 0,03$ м. Катушки индуктивности устанавливают под шинами, соединяющими выводы обмоток трансформатора 1 со стороны его низшего напряжения с выпрямителями 2 и 3, например, на безопасном по технике безопасности расстоянии $h = 0,12$ м. В режиме нагрузки при протекании указанных токов в шинах, соединяющих выводы обмоток трансформатора 1 со стороны его низшего напряжения с выпрямителями 2 и 3, на выводах КИ 17 наводится ЭДС:

$$\underline{E}_1 = \mu_0 fws \frac{I_{2YA}}{h} e^{-j90^0} = 11,72e^{-j134^0}\ \text{В}, \qquad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Аналогично (1), ЭДС на выводах КИ 18–22 $\underline{E}_2 = 11,72e^{j106^0}$ В,

$\underline{E}_3 = 11,72e^{-j14^0}$ В, $\underline{E}_4 = 11,72e^{-j104^0}$ В, $\underline{E}_5 = 11,72e^{j136^0}$ В,

$\underline{E}_6 = 11,72e^{j16^0}$ В, соответственно.

ЭДС $\underline{E}_1 \div \underline{E}_3$ подают на входы фазоповоротных схем (ФПС) 23, которые сдвигают их на 30^0. В результате на выходах ФПС 23 появляются ЭДС

$$\underline{E}_{11} = 11,72e^{-j104^0}\ \text{В},\ \ \underline{E}_{21} = 11,72e^{j136^0}\ \text{В},\ \underline{E}_{31} = 11,72e^{j16^0}\ \text{В}.$$

ЭДС $\underline{E}_{11},\ \underline{E}_{21},\ \underline{E}_{31},\ \underline{E}_4,\ \underline{E}_5,\ \underline{E}_6$

подают на входы схем 24 сравнения разностей ЭДС с эталонной величиной, где вычисляют абсолютное значение разностей ЭДС

$$\left|\underline{E}_{11} - \underline{E}_4\right|,\ \left|\underline{E}_{21} - \underline{E}_5\right|,\ \left|\underline{E}_{31} - \underline{E}_6\right|,$$

и сравнивают их с эталонным значением ЭДС, равным $E_{эт} = 2$ В. Эта цифра получается в результате отстройки от ЭДС небаланса, которая зависит от погрешности установки КИ 17–22 и погрешности устройства, реализующего способ. Так как в режиме нагрузки указанные разности не превышают эталонное значение ЭДС $E_{эт} = 2$ В, то защита не срабатывает.

При двухфазном коротком замыкании (КЗ), например, со стороны низшего напряжения трансформатора 1 между фазами В и С на выводах обмотки трансформатора, соединенной в «звезду», токи

$$I_{2YA} = 3700e^{-j49^0}\ \text{А},\ I_{2YB} = 3700e^{j157^0}\ \text{А},\ I_{2YC} = 3340e^{j62^0}\ \text{А},$$

а $$I_{2\Delta A} = 3700e^{-j28^0}\ \text{А},\ I_{2\Delta B} = 3340e^{j220^0}\ \text{А},\ I_{2\Delta C} = 3700e^{j107^0}\ \text{А}.$$

При этом на выводах КИ 17-22 по (1) получаем:

$$\underline{E}_1 = 10,84e^{-j139^0}\ \text{В},\ \underline{E}_2 = 10,84e^{j67^0}\ \text{В},\ \underline{E}_3 = 9,79e^{-j28^0}\ \text{В},$$

Тогда на выходах ФПС 23 $\underline{E}_{11} = 10,84e^{-j109^0}$ В,

$\underline{E}_{21} = 10,84e^{j97^0}$ В, $\underline{E}_{31} = 9,79e^{j2^0}$ В, а абсолютное значение разностей ЭДС:

$$\left|\underline{E}_{11} - \underline{E}_4\right| = \left|10,84e^{-j109^0} - 10,84e^{-j62^0}\right| = 8,64\ \text{В},$$

$$\left|\underline{E}_{21} - \underline{E}_5\right| = \left|10,84e^{j97^0} - 9,79e^{j130^0}\right| = 5,95\ \text{В},$$

$$\left|\underline{E}_{31} - \underline{E}_6\right| = \left|9,79e^{j2^0} - 10,84e^{-j17^0}\right| = 2,89\ \text{В}.$$

Так как полученные разности превышают эталонное значение ЭДС $E_{эт} = 2$ В, то на выходах схем 24 появляются сигналы, которые поступают на входы исполнительного органа 25. Последний срабатывает и подает сигнал на отключение выключателя 26. Отметим, что в случае необходимости (как правило, при малых токах нагрузки) рассмотренное устройство может быть дополнено усилителями, входы которых подключаются к выходам ФПС 23 и к выводам КИ 17-22, а выходы – к входам схем 24.

Значения токов, протекающих при двухфазном КЗ в шинах, соединяющих выводы обмоток трансформатора 1 со стороны его низшего напряжения с выпрямителями 2 и 3, получены (как и при нагрузке) при помощи модели рассматриваемой ПУ, для реализации которой была использована среда динамического моделирования MatLab Simulink с пакетом SimPowerSystems. Адекватность реализации и математического описания всех элементов, входящих в состав данного пакета, проверены канадским производителем электроэнергии, фирмой Hydro-Quebec [12]. Моделирование трансформатора 1 осуществлено при помощи элемента Three-Phase Transformer (Three Windings), для которого задаются такие параметры, как: номинальная мощность (в МВ • А), схема соединения первичной и вторичных обмоток, действующие значения их линейных напряжений (в В), активные сопротивления и индуктивности обмоток (в о.е.), активное сопротивление ветви намагничивания (в о.е.). Выпрямители 2 и 3 реализованы при помощи элементов Universal Bridge. В качестве нагрузки 16 и сглаживающего фильтра (на рисунке 1 не показан) использованы элементы Series RLC Branch. Моделирование электрической сети, к которой подключается трансформатор 1, осуществлено при помощи блока Three-Phase Source, для которого задаются действующие значения линейного напряжения (в В), частота (в Гц), сопротивление сети (в Ом) и ее индуктивность (в Гн). Для моделирования выключателя 26 использован элемент Three-Phase Breaker.

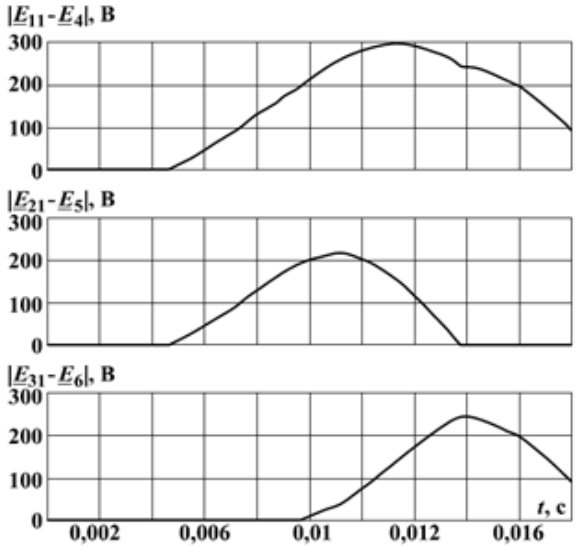


Рисунок 2 – Разности ЭДС при пробое диода 4

Также было смоделировано рассмотренное выше устройство защиты. КИ 17-22 реализованы с помощью элементов Three-Phase VI Measurement, From, Goto, Demux и Gain. Для моделирования ФПС 23 использованы элементы Transport Delay. Схемы 24 сравнения разностей ЭДС с эталонной величиной реализованы с помощью элементов Add, Abs и Compare To Constant. Исполнительный орган 25 выполнен с помощью элемента Logical Operator.

На рисунках 2 и 3 представлены осциллограммы разностей $\left|\underline{E}_{11} \quad \underline{E}_{4}\right|$, $\left|\underline{E}_{21}-\underline{E}_{5}\right|$, $\left|\underline{E}_{31}-\underline{E}_{6}\right|$, полученных путем моделирования при пробое диода 4 и при его обрыве. Величины разностей ЭДС в этих аварийных режимах превышают эталонное значение ЭДС $E_{эт}=2\,\text{В}$. Следовательно, защита срабатывает, и исполнительный орган 25 подает команду на отключение выключателя 26.

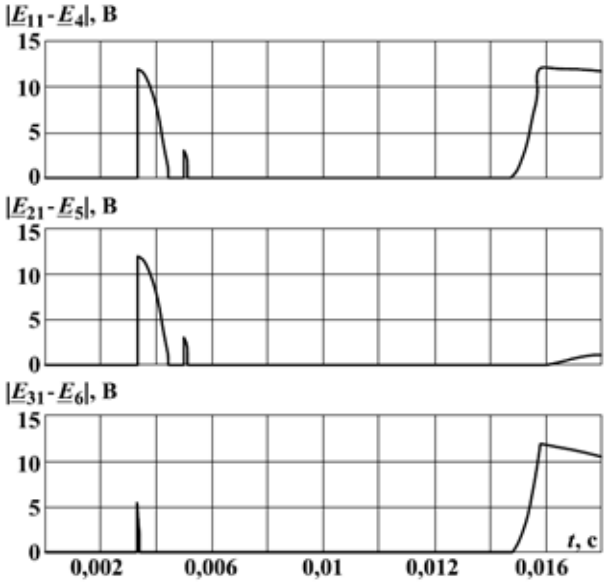


Рисунок 3 – Разности ЭДС при обрыве диода 4

Выводы

Предложенный в данной работе способ построения дифференциальной защиты преобразовательных установок с силовым трансформатором с 2n вторичными обмотками и 2n выпрямителями позволяет обойтись без трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками, благодаря чему

удастся значительно экономить медь и сталь в технике релейной защиты. Этот способ дает возможность повысить чувствительность дифференциальных защит преобразовательных установок, так как отпадает необходимость в отстройке от бросков тока намагничивания силового трансформатора.

Список использованных источников

1 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 р.

2 **Глух, Е. М.** Защита полупроводниковых преобразователей. – М. : Энергоиздат, 1982. – 152 с.

3 **Flick, J. R., Sims, C.W.** AC/DC converter fault detector // Патент США №5206801. – 1993.

4 **Xiaowei, F., Gang, L., Dong, Z.** Direct current differential protection method of rectification unit // Патент Китая №101764394A. – 2010.

5 **Zhang, J.** Differential protection principle for the new converter transformers // Dianli Xitong Zidonghua: Automation of Electric Power Systems, 2011. – Vol. 35. – Issue 4. – P. 46–50.

6 **Gajić, Z.** Practical Experience with Differential Protection for Converter Transformers // Study Committee B5 Colloquium CIGRE, Belo Horizonte. – 2013. – P. 315–324.

7 **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.

8 **Kozhovich, L.A., Bishop, M.T.** Modern relay protection with current sensors on the basis of Rogovsky Coil // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. Materials of International Scientific and Technical Conf., 2009. – P. 39–48.

9 **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.

10 **Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Горюнов, В. Н.**, **Леньков, Ю. А.** Устройство дифференциальной защиты на герконах и магниторезисторе для преобразовательной установки с трансформатором и выпрямителем // Патент Российской Федерации №2614243. – 2017.

11 **Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Машрапов, Б. Е., Габдулов, А. У., Никитин, К. И.** Способ защиты преобразовательной установки с трансформатором с 2n вторичными обмотками и 2n выпрямителями // Патент Российской Федерации №2683266. – 2019.

12 SimPowerSystems. User's Guide. Version 4. – The Math Works, Inc., 2006. – 931 с.

References

1 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Vysshaya shkola, 2006. – 639 p.

2 **Gluh, E. M.** Zashchita poluprovodnikovyh preobrazovatelej [Protection of semiconductor converters]. – Moscow : Energoizdat, 1982. – 152 p.

3 **Flick, J. R., Sims, C. W.** AC/DC converter fault detector // Pat. USA №5206801. – 1993.

4 **Xiaowei, F., Gang, L., Dong, Z.** Direct current differential protection method of rectification unit // Pat. China №101764394A. – 2010.

5 **Zhang, J.** Differential protection principle for the new converter transformers // Dianli Xitong Zidonghua : Automation of Electric Power Systems, 2011. – Vol. 35. – Issue 4. – P. 46–50.

6 **Gajić, Z.** Practical Experience with Differential Protection for Converter Transformers // Study Committee B5 Colloquium CIGRE, Belo Horizonte. – 2013. – P. 315–324.

7 **Diakov, A. F., Ishkin, V. Kh., Mamikoniants, L. G., Semenov, V. A.** Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletiia (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. – Moscow : CJSC Scientific and technical firm «Energoprogress», 2004. – Issue 4-5. – 176 p.

8 **Kozhovich, L. A., Bishop, M. T.** Modern relay protection with current sensors on the basis of Rogovsky Coil // Modern Development of Relay Protection and Power System Automation Systems. Materials of International Scientific and Technical Conf., 2009. – P. 39–48.

9 **Kletsel, M. Ya.** Osnovy postroeniya relejnoj zashchity na gerkonah [Fundamentals of building relay protection on reed switches] // Sovremennye napravleniya razvitiya sistem relejnoj zashchity i avtomatiki energosistem: mater. 4-j mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [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.

10 **Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Goryunov, V. N., Len'kov, Yu. A.** Ustrojstvo differencial'noj zashchity na gerkonah i magnitorezistore dlya preobrazovatel'noj ustanovki s transformatorom i vypryamitelem [Differential

protection device based on reed switches and magnetoresistor for a converter plant with a transformer and a rectifier] // Pat. Russian Federation №2614243. – 2017.

11 **Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Mashrapov, B. E., Gabdulov, A. U., Nikitin, K. I.** Sposob zashchity preobrazovatel'noj ustanovki s transformatorom s 2n vtorichnymi obmotkami i 2n vypryamitelyami [Protection method of a converter installation with a transformer with 2n secondary windings and 2n rectifiers] // Pat. Russian Federation №2683266. – 2019.

12 SimPowerSystems. User's Guide. Version 4. – The Math Works, Inc., 2006. – 931 p.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**А. С. Барукин[1], Б. Е. Машрапов[2], М. Я. Клецель[3]*
[1,2,3]Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

2N ҚАЙТАЛАМА ОРАМДАРЫМЕН ЖӘНЕ 2N ТҮЗЕТКІШТЕРІМЕН ТРАНСФОРМАТОРЫ БАР ТҮРЛЕНДІРГІШ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ РЕСУРС ҮНЕМДЕЙТІН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ҚОРҒАНЫСЫ

Трансформаторларды пайдаланбайтын түрлендіргіш қондырғылардың ресурс үнемдейтін дифференциалды қорғанысын өңдеудің өзектілігі негізделеді. Бұл мәселені шешудің бір бағыты магнитке сезімтал элементтерді қолдану болып табылады. «Торайғыров университеті» КЕАҚ-да бұрын герконда рда ток трансформаторларынсыз түрлендіргіш қондырғыларды дифференциалды қорғау құрылғысын жасауға әрекет жасалғаны айтылады. Осы уақытқа дейін 2n екінші реттік трансформаторы бар (мұндағы n – «жұлдызға» және «үшбұрышқа» қосылған трансформатордың екінші реттік орамаларының саны) және 2n түзеткіштері бар түрлендіргіш қондырғылары үшін дифференциалды қорғаныс ұсынылмағаны анықталды. Мұндай қорғауды құрудың патенттелген әдісі ұсынылады. Бұл әдіс түрлендіргіш қондырғының трансформаторының төменгі кернеуі жағынан барлық фазаларды шиналарына жақын орналасқан индуктивтілік катушкаларындағы ЭҚК-ны өлшеу, осы шиналардағы токтармен басқарылатын ЭҚК-ны теңестіру және азайту, аттас фазалар үшін катушкалардан алынған, сондай-ақ алынған айырмаларды эталон мәнімен салыстыру болып табылады. Қорғауды құрудың ұсынылған әдісін жүзеге асыратын құрылғының моделі келтірілген және оның түрлендіргіш қондырғының әртүрлі жұмыс режимдеріндегі әрекеті талданған. 2n түзеткіштердің бірінің диоды сынған кезде және үзілген кезде модельдеу арқылы алынған осциллограммалар ұсынылған.

Кілтті сөздер: түрлендіргіш қондырғы, трансформатор, дифференциалды қорғаныс, индуктивтілік катушка, шина.

**A. S. Barukin[1], B. E. Mashrapov[2], M. Ya. Kletsel[3]*
[1, 2,3]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 20.06.23.

RESOURCE-SAVING DIFFERENTIAL PROTECTION OF CONVERTER INSTALLATION WITH A TRANSFORMER WITH 2N SECONDARY WINDINGS AND 2N RECTIFIERS

The relevance of the development of resource-saving differential protection of converter installations that do not use current transformers is substantiated. It is noted that one of the directions for solving this problem is the use of magnetically sensitive elements. It is mentioned that in NJSC Toraighyrov University an attempt was made earlier to build a differential protection device for converter installations without current transformers on reed switches. It has been established that so far differential protection has not been offered for converter installations with a transformer with 2n secondary windings (where n is the number of secondary windings of the transformer connected in a star and delta connection) and 2n rectifiers. A patented method for constructing such protection is proposed. The method consists in measuring the EMF at the terminals of inductance coils installed near the busbars of all phases on the low voltage side of the transformer of the converter installation, in equalizing and subtracting the EMF induced by currents in these busbars, obtained from coils for the same phases, and also in the subsequent comparison of the obtained differences with reference value. A model of a device that implements the proposed method for constructing protection is presented, and its behavior in various modes of operation of the converter installation is analyzed. The oscillograms are presented, obtained by modeling during a breakdown and during a break in the diode of one of the 2n rectifiers.

Keywords: converter installation, transformer, differential protection, inductance coil, busbar.

SRSTI 44.29.39

https://doi.org/10.48081/KOWL6778

M. E. Volgin[1], E. M. Volgina[2], A. P. Kislov[3]
[1,2,3]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
*e-mail: volgin_m@mail.ru

IMPROVING THE EFFICIENCY OF 6–10 KV POWER GRIDS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES THROUGH OPTIMAL REACTIVE POWER CONTROL

The article deals with improving the efficiency of an industrial power system, which is determined by the level of power losses in its elements.

One of the most important methods of increasing the efficiency of power supply systems and distribution networks that ensure the transmission and distribution of electricity is to reduce the amount of electrical energy that is expended in this process. Reducing power losses in electrical grids is achieved by reducing the reactive component of the electric current, i.e., by increasing the cos φ. The Electrical Installation Code recommends, first of all, using the synchronous motors available at the enterprise.

It is reasonable to solve the problem of minimizing active power losses in the power grid using the method of mathematical modeling and mathematical programming.

The article presents the main features of the criterion programming method for solving a class of problems with a positive degree of difficulty, which is quite well-known in the electric power industry for solving optimization problems.

We propose the method of criterion programming to solve the problem of improving the efficiency of the power grid by optimal control of the operation of synchronous motors according to the reactive power mode.

Keywords: Electrical network, reactive power, minimization of active power losses, synchronous motors, criterion programming.

Introduction

The efficiency of the power supply system is determined by the level of power losses in its elements.

One of the most important methods of increasing the efficiency of power supply systems and distribution networks that ensure the transmission and

distribution of electricity is to reduce the amount of electrical energy that is expended in this process. According to international experts, the relative losses of electric power during transmission and distribution in power grids in most countries can be considered satisfactory if they do not exceed 4-5%. Losses at the level of 10% can be considered the maximum allowable as regards the physics of transmission through power grids.

Thus, one of the criteria for evaluating the efficiency of electrical grids and systems is the levels of power losses in them.

Materials and methods

Power losses in lines

Transmitting a significant amount of reactive power through lines and transformers on the power grid is unprofitable for the following main reasons:

(a) there are additional losses of active power and energy in all elements of the power supply system due to their reactive power load;

(b) there are additional voltage losses;

(c) loading transmission lines and transformers of the power supply network with reactive power reduces the capacity of the network, which in some cases does not allow using of the full generators of power plants.

The power-factor correction is used to eliminate the above causes that reduce the efficiency of power supply networks. It can be increased both without the use of compensating devices and with the use of compensating devices.

Use of mathematical programming methods

It is reasonable to solve the problem using mathematical programming methods. One of the methods is the method of criterion programming.

The principal task of this method is formulated as follows:

- to find the minimum value of the function

$$Y(X),\ X = (X1, X2, \ldots, Xm), \tag{1}$$

- provided $X1 > 0, X2 > 0, \ldots, Xm > 0,$

- and constraints

$$g_1(X) \le 1,\ g_2(X) \le 1,\ \ldots,\ g_p(X) \le 1.$$

It is assumed that the objective function $Y(X)$ and the constraints $g(X)$ are expressed by positive generalized polynomials in the form of

$$Y(X) = \sum_{i=1}^{n} A_i \prod_{j=1}^{m} X_j^{a_{ij}}, \tag{2}$$

where $Ai > 0$, α_{ij} are arbitrary real numbers;

X_j is an optimized variable;

n is the number of terms in the objective function and constraints;

m is the number of optimized variables;

α_{ij} is any real number.

To determine the minimum of the objective function in criterion programming (a class of problems with non-zero degree of difficulty) the duality theory is applied [5, 6], where the direct problem of searching for optimal values X_0 is replaced by the determination of components of the vector of similarity criteria π_0 with subsequent identification of the maximum of such multiplicative function $D(\pi)$, that

$$D_{\max}(\pi_0) = Y_{\min}(X_0).$$

In this case, the function $D(\pi)$ is called dual, and the determination of its maximum value and the maximizing vector π_0 is called the solution of the dual problem, respectively.

For the objective function $Y(X)$ and constraints $g(X)$ of a direct problem with a positive degree of difficulty $(d = n - m - 1 > 0)$, which is most typical for technical and economic optimization problems set in power engineering, the general solution for dual constraints will have the form of [4]:

$$\pi = b_0 + \sum_{j=1}^{d} c_j b_j, \tag{3}$$

where c_j is the j-th basis variable; it has a value of an arbitrary real number satisfying the non-negativity constraint:

$$b_{i0} + \sum_{j=1}^{d} c_i b_{ij} \geq 0 \qquad i = 1, 2, 3, \ldots n;$$

where b_0 is the normalization vector, b_{i0} is its i-th component; b_j is the j-th residual vector, b_{ij} is its i-th component.

By substituting expression (3) into the solution of the dual problem and after some transformations, we obtain the expression of the maximizing vector $\pi 0$ through the generalized constants of the objective function and the constraints:

$$\prod_{i=1}^{n} \pi_i^{b_{ij}} = \prod_{i=1}^{n} A_i^{b_{ij}}. \tag{4}$$

When determining the optimal values of the variables of the direct criterion programming [4, 9] problem we proceed from the fact that

$$D(\pi_0)_{\max} = \prod_{i=1}^{n_1} \left(\frac{A_i}{\pi_i} \right)^{\pi_i} \cdot \prod_{k=1}^{p} (\lambda_k)^{\pi_k}, \tag{5}$$

$$Y_{\min}(X_0) = D_{\max}(\pi_0) = \sum_{i=1}^{n} A_i \prod_{j=1}^{m} X_{j0}^{a_{ji}}, \tag{6}$$

where X_0 is the desired minimizing vector of the main problem;

n_1 is the number of terms of the objective function;

p is the number of constraints;

λ_k is the k-th constraint.

Based on the definitions of the similarity criteria π we can write n equations in the form of

$$D_{\max}(\pi_0)\pi_{i0} = A_i \prod_{j=1}^{m} X_{j0}^{a_{ji}}, \tag{7}$$

where $i = 1, 2, 3, \ldots, n$.

Logarithmizing the system of equations (7) defines a system of linear equations with respect to InX_{j0}:

$$\ln = \left(\frac{D_{\max}(\pi_0)\pi_{i0}}{A_i} \right) = \sum_{j=1}^{m} \alpha_{ji} \ln X_{j0}, \tag{8}$$

where $j = 1, 2, 3, \ldots, m$.

In this system of equations, the $(d + 1)$ equations are linearly dependent. By isolating a system of m linearly independent equations from (8) and solving it, we find a vector of solutions with respect to InX_{i0}:

$$B = \begin{vmatrix} \ln B_1 \\ \ln B_2 \\ \ldots \\ \ln B_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \ln X_{10} \\ \ln X_{20} \\ \ldots \\ \ln X_{m0} \end{vmatrix}. \tag{9}$$

Exponentiating the obtained solution determines the coordinates of the minimizing point of the main optimization problem, i.e. $X_{10}, X_{20}, X_{30}, \ldots, X_{m0}$.

Problem solving algorithm

Theoretical provisions of criterion programming are fully enough described in [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], so we will focus on the algorithm for solving the problem set below.

Figure 1 shows the main section of the 6–10 kV distribution network. Switchgear No.4, No.5, and No.6 are connected to the trunk mains. Synchronous motors, as well as other loads, are connected to the switchgears.

The task is formulated as follows: to optimize the reactive power mode of the electric network. The optimality criterion is a minimum of active power losses on a distribution network section.

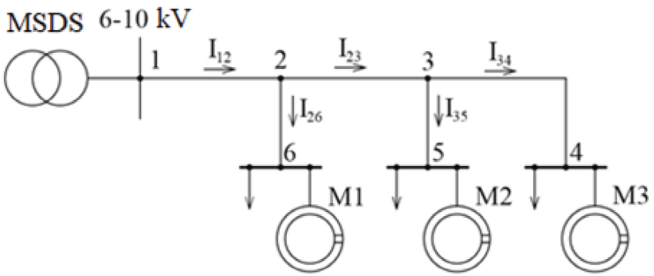


Figure 1 – Diagram of the distribution network section

The mathematical model of the electric grid will have the form of:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} 3 \cdot r_i \cdot \left(I_{ia}^2 + I_{ip}^2\right),$$

when

$$I_{ia} \geq G_{ia}, \quad I_{ip} \geq G_{ip},$$

where r_i is the active ratio of the i-th arms of the electrical network;

I_{ia}, I_{ip} are active and reactive components of the current in the i-th arm, respectively;

G_{ia}, G_{ir} are active and reactive current components of the i-th arm, respectively, determined by the calculation scheme;

n is the number of arms in the electrical network.

As we can see from the mathematical model, [4, 9] active power losses in the electric network consist of two components: the first depends on active power, and the second – on reactive power. Thus, the task of minimizing the losses of active power has been reduced to determining the optimal values of reactive power, which can be done at the expense of synchronous motors.

Results and discussion

The mathematical model for this problem is written in the form of

$$\Delta P_p = 3 \cdot r_{12} \cdot I_{12p}^2 + 3 \cdot r_{23} \cdot I_{23p}^2 + 3 \cdot r_{34} \cdot I_{34p}^2 + 3 \cdot r_{35} \cdot I_{35p}^2 + 3 \cdot r_{26} \cdot I_{26p}^2,$$

with constraints:

$$I_{12p}^{-1} \cdot G_{12p} \leq 1; \quad I_{23p}^{-1} \cdot G_{23p} \leq 1; \quad I_{34p}^{-1} \cdot G_{34p} \leq 1; \quad I_{35p}^{-1} \cdot G_{35p} \leq 1;$$
$$I_{26p}^{-1} \cdot G_{26p} \leq 1.$$

The independent variables in this problem are currents in network arms, their number is five, and the total number of terms, including constraints, is 10. The degree of difficulty of the problem d [4] will be equal:

$$d = 10 - 5 - 1 = 4.$$

This model with constraints corresponds to the matrix (matrix of power indices at the objective variables) [3,4, 9]:

$$\alpha = \begin{vmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \qquad (10)$$

Modified by the Gauss-Jordan method, it will have the form of

$$\alpha' = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 \end{vmatrix} \quad (11)$$

By taking the reciprocal matrix lying to the right of the unit matrix and adding the unit matrix of size [*(d+1)* × *(d+1)*] below, we obtain the matrix β

$$\beta = \begin{vmatrix} 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (12)$$

The normalization vectors b_0 and the residuals b_j are determined by the known relations from the matrix β. To obtain the normalization vector, take any column vector of the matrix and divide it by the sum of its first components. To obtain the jth residual vector, take the remaining column vector of the matrix β and subtract from it the product of the sum of its first components by the normalization vector. We obtain:

$$b_0 = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_1 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_2 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 0 \\ 1/2 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_3 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 1/2 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_4 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/2 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}. \quad (13)$$

According to (3) the vector of similarity criteria in the general case is written as

$$\pi = \begin{vmatrix} 1 - \frac{1}{2}C_1 - \frac{1}{2}C_2 - \frac{1}{2}C_3 - \frac{1}{2}C_4 \\ \frac{1}{2}C_1 \\ \frac{1}{2}C_2 \\ \frac{1}{2}C_3 \\ \frac{1}{2}C_4 \\ 2 - C_1 - C_2 - C_3 - C_4 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{vmatrix}. \quad (14)$$

Let us define the maximizing vector π. To do this, according to expression (4), write a system of equation

$$
\begin{cases}
\left(1-\frac{1}{2}C_1-\frac{1}{2}C_2-\frac{1}{2}C_3-\frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}}\cdot\left(\frac{1}{2}C_1\right)^{\frac{1}{2}}\cdot(2-C_1-C_2-C_3-C_4)^{-1}\cdot C_1 = \\
=(3r_{12})^{-\frac{1}{2}}\cdot(3r_{23})^{\frac{1}{2}}\cdot G_{12}^{-1}\cdot G_{23}; \\
\left(1-\frac{1}{2}C_1-\frac{1}{2}C_2-\frac{1}{2}C_3-\frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}}\cdot\left(\frac{1}{2}C_2\right)^{\frac{1}{2}}\cdot(2-C_1-C_2-C_3-C_4)^{-1}\cdot C_2 = \\
=(3r_{12})^{-\frac{1}{2}}\cdot(3r_{34})^{\frac{1}{2}}\cdot G_{12}^{-1}\cdot G_{34}; \\
\left(1-\frac{1}{2}C_1-\frac{1}{2}C_2-\frac{1}{2}C_3-\frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}}\cdot\left(\frac{1}{2}C_3\right)^{\frac{1}{2}}\cdot(2-C_1-C_2-C_3-C_4)^{-1}\cdot C_3 = \\
=(3r_{12})^{-\frac{1}{2}}\cdot(3r_{35})^{\frac{1}{2}}\cdot G_{12}^{-1}\cdot G_{35}; \\
\left(1-\frac{1}{2}C_1-\frac{1}{2}C_2-\frac{1}{2}C_3-\frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}}\cdot\left(\frac{1}{2}C_4\right)^{\frac{1}{2}}\cdot(2-C_1-C_2-C_3-C_4)^{-1}\cdot C_4 = \\
=(3r_{12})^{-\frac{1}{2}}\cdot(3r_{26})^{\frac{1}{2}}\cdot G_{12}^{-1}\cdot G_{26}.
\end{cases}
\tag{15}
$$

Conclusion

Setting the initial information about the electric network arms and solving the system (15) with respect to the variables C, substituting their values in the expression for the vector of similarity criteria (14), we obtain the numerical values of its components. Further, using expressions (5), (6), (7) (8), and (9), the optimum values of reactive components of currents in the arms of a distribution network are finally determined. Thus, we obtained the solution to the problem of minimizing active power losses in the power grid using the method of mathematical modeling and mathematical programming.

Outcomes

Using the method of criterion programming a model to solve the problem of improving the efficiency of the power grid by optimal control of the operation of synchronous motors according to the reactive power mode has been developed.

References

1 **Белей, В. Ф.** Научное обоснование методов повышения эффективности электротехнических комплексов и систем. // Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – Калининград, 2004. – 372 с.

2 Электротехнический справочник : справочник: в 3 т. / И. Н. Орлова и др.; ред. И. Н. Орлова – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 880 с. – 3 т. –Кн. 1.

3 Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах : учебное пособие / Н. М. Черемисин, В. В. Черкашина. – Харьков : Факт, 2014. – 88 с.

4 **Астахов, Ю. Н., Лежнюк, П. Д., Овчинников, В. В.** Решение оптимизационных задач в электроэнергетике критериальным анализом. Депон. 29 марта 1979, ИНФОРМЭНСРГО № Д/585. – 41 с.

5 **Даффен, Р., Питерсон, Э., Зеннер, К.** Геометрическое программирование. – М. : Мир, 1972. – 312 с.

6 **Зеннер, К.** Геометрическое программирование и техническое проектирование. – М. : Мир, 1973. – 112 с.

7 **Астахов, Ю. Н., Веников, В. А. и др.** Электрические системы. Кибернетика электрических систем. – М. : Высшая школа, 1974. – 327 с.

8 **Астахов, Ю. Н., Гордиевский, И. Г., Карасёв, Д. Д. и др.** Критериальный анализ технико-экономических задач в энергетике. В кН. Кибернетику на службу коммунизму. Т 7 – М. : Энергия, 1973. – 232 с.

9 **Утегулов, Б. Б., Волгин, М. Е.** Методика критериального программирования оптимизации параметров систем электроснабжения угольных разрезов. // Вестник ПГУ. Научный журнал. Павлодарского Государственного университета им. С. Торайгырова. – № 2. – Павлодар, 2001.

10 **Астахов, Ю. Н., Лежнюк, П. Д., Ярных, Л. В.** Оптимизация режимов электрических сетей методом критериального программирования. // Изв. АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1979. – № 1.

References

1 **Belej, V. F.** Nauchnoe obosnovanie metodov povyshenija jeffektivnosti jelektrotehnicheskih kompleksov i system [Scientific substantiation of methods of increasing the efficiency of electrical complexes and systems] // D. thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences. – Kaliningrad, 2004. – 372 p.

2 Jelektrotehnicheskij spravochnik : spravochnik : v 3 t. [Electrotechnical Handbook : Handbook : in 3 volums] / I. N. Orlova et al.; Edited by I. N. Orlova. – Moscow : Energoatomizdat, 1988. – 880 p. – 3 vol. Book 1.

3 Kriterial'nyj metod analiza tehniko-jekonomicheskih zadach v jelektricheskih setjah i sistemah : uchebnoe posobie [Criterion method of the analysis of the technical-economical problems in the electrical networks and systems: Tutorial (in Russian)] / N. M. Cheremisin, V. V. Cherkashina. – Kharkov : Fact, 2014. – 88 p.

4 **Astahov, Ju. N., Lezhnjuk, P. D., Ovchinnikov, V. V.** Reshenie optimizacionnyh zadach v jelektrojenergetike kriterial'nym analizom. [Solution of optimization problems in electric power industry by criterial analysis] Depon. March 29, 1979. INFORMJeNSRGO № D/585. – 41 p.

5 **Daffen, R., Piterson, Je., Zenner, K.** Geometricheskoe programmirovanie [Geometric programming]. – Moscow : Mir, 1972. – 312 p.

6 Zenner, K. Geometricheskoe programmirovanie i tehnicheskoe proektirovanie [Geometrical programming and technical design]. – Moscow : Mir, 1973. – 112 p.

7 **Astahov, Ju. N., Venikov, V. A. et al.** Jelektricheskie sistemy. Kibernetika jelektricheskih system [Electrical Systems. Cybernetics of Electrical Systems]. – Moscow : Higher School, 1974. – 327 p.

8 **Astahov, Ju. N., Gordievskij, I. G., Karasjov, D. D. et al.** Kriterial'nyj analiz tehniko-jekonomicheskih zadach v jenergetike. V kn. Kibernetiku na sluzhbu kommunizmu. [Criterial analysis of technical and economic problems in power engineering. In Cybernetics at the Service of Communism]. – Moscow : Energia, 1973. – Vol. 7. – 232 p.

9 **Utegulov, B. B., Volgin, M. E.** Metodika kriterial'nogo programmirovanija optimizacii parametrov sistem jelektrosnabzhenija ugol'nyh razrezov [Technique of criterial programming of optimization of parameters of power supply systems of coal mines] // Pavlodar : Vestnik PSU. Scientific journal. Pavlodar State University named after S. Toraigyrov. – 2001. – № 2.

10 **Astahov, Ju. N., Lezhnjuk, P. D., Jarnyh, L. V.** Optimizacija rezhimov jelektricheskih setej metodom kriterial'nogo programmirovanija [Optimization of electric network modes by criterion programming] // Izv. of the Academy of Sciences of the USSR. «Energetics and Transport», 1979. – No.1.

Material received on 20.06.23.

**М. Е. Волгин[1], Е. М. Волгина[2], А. П. Кислов[2]*
[1,2,3]Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

РЕАКТИВТІ ҚУАТТЫ ОҢТАЙЛЫ БАСҚАРУ АРҚЫЛЫ ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ 6–10 кВ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Мақалада оның элементтеріндегі электр энергиясының жоғалу деңгейімен анықталатын өнеркәсіптік кәсіпорынның электрмен жабдықтау жүйесінің тиімділігін арттыру мәселесі қарастырылған.

Электр энергиясын беру мен таратуды қамтамасыз ететін электрмен жабдықтау жүйелері мен тарату желілерінің тиімділігін арттырудың маңызды жолдарының бірі осы процеске жұмсалатын электр энергиясын тұтынуды азайту болып табылады. Электр желілеріндегі электр энергиясының жоғалуын азайту токтың реактивті құрамдас бөлігін азайту арқылы жүзеге асырылады, яғни. cos φ көбейтіңіз. PUE бұл үшін, ең алдымен, кәсіпорында бар синхронды қозғалтқыштарды пайдалануды ұсынады.

Математикалық модельдеу және математикалық бағдарламалау әдістерін қолдана отырып, электр желісіндегі белсенді қуат жоғалтуларын азайту мәселесін шешкен жөн.

Мақалада оңтайландыру есептерін шешу үшін электр энергетикасында жақсы белгілі қиындықтың оң дәрежесі бар есептер класын шешуге арналған критериалды бағдарламалау әдісінің негізгі ерекшеліктері берілген.

Реактивті қуат режимі бойынша синхронды қозғалтқыштардың жұмысын оңтайлы басқару есебінен электр желісінің тиімділігін арттыру мәселесін шешу үшін критериалды бағдарламалау әдісін қолдану әдістемесі ұсынылған.

Кілтті сөздер: Электр желісі, Реактивті қуат, Белсенді қуаттың жоғалуын азайту, Синхронды қозғалтқыштар, Критериалды бағдарламалау.

**М. Е. Волгин[1], Е. М. Волгина[2], А. П. Кислов[2]*
[1,2,3]Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6–10 кВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЁМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ

В статье рассматривается вопрос повышения эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия, которая определяется уровнем потерь электрической энергии в её элементах.

Одним из важнейших путей повышения эффективности систем электроснабжения и распределительных сетей, обеспечивающих передачу и распределение электроэнергии, является снижение расхода электрической энергии, который тратится на этот процесс. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях производят за счёт снижения реактивной составляющей электрического тока,

т.е. повышения cos φ. ПУЭ рекомендует для этого в первую очередь использовать имеющиеся на предприятии синхронные двигатели.

Решить поставленную задачу по минимизации потерь активной мощности в электрической сети целесообразно с использованием методов математического моделирования и математического программирования.

В статье приводятся основные черты метода критериального программирования для решения класса задач с положительной степенью трудности, который достаточно хорошо известен в электроэнергетике для решения оптимизационных задач.

Предлагается методика применения метода критериального программирования для решения задачи повышения эффективности электрической сети за счёт оптимального управления работой синхронных двигателей по режиму реактивной мощности.

Ключевые слова: Электрическая сеть, Реактивная мощность, Минимизация потерь активной мощности, Синхронные двигатели. Критериальное программирование.

МРНТИ 44.31.31

https://doi.org/10.48081/LWXO2607

***А. А. Генбач[1], Д. Ю. Бондарцев[2], Н. А. Генбач[3]**
Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы
e-mail: a.genbach@aues.kz

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРУКТУРАХ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

Разработаны стенды и установки и исследованы процессы кипения жидкости в капиллярно-пористых структурах оптическими методами: голографической интерферометрией, скоростной киносъёмкой и фотографирования. Схемы стендов составлены на основе разработок по применению оптической голографии для исследования динамических объектов и быстропротекающих процессов. Даны условия опытов и методика обработки внутренних характеристик кипения. Приводятся результаты обработки опытных данных в виде интерферограммы в зависимости от вида структуры, тепловой нагрузки, избытка жидкости, времени «жизни», плотности центров парообразования. Наблюдение проводится при следующих удельных тепловых потоках: $4x10^4$ Вт/м^2; $6.7x10^4$ Вт/м^2; $9.4x10^4$ Вт/м^2 и $12x10^4$ Вт/м^2. Для структуры вида 0.14 x 0.4 изучается подвод жидкости против действия гравитационных сил. Для определения отрывного диаметра пузыря производится покадровая обработка пленок. В качестве исходного параметра для набора частоты кадров и диафрагмы кино- и фото-съёмочной аппаратуры служит средняя продолжительность «жизни» парового пузыря, которая в зависимости от величины q предполагается равной 1/50…1/4000 секунды. В качестве источника когерентного излучения используется гелиево-неоновый лазер. С целью исключения сложной юстировки системы пластинка обрабатывается (проявляется) на месте экспонирования.

Ключевые слова: экспериментальные установки, капиллярно-пористые структуры, фотокамера, лазер, энергооборудование.

Введение

Для исследования процессов тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых структурах применяется визуализация с использованием голографической интерферометрии, фотоупругости, фото- и кинографирования [1–3].

Методы визуализации помогают понять механизм процесса кипения и управлять интенсивностью и форсировкой теплообмена в поле комбинированного действия капиллярных и массовых сил [4–6].

Обобщение экспериментальных данных позволяет получить критериальные уравнения теплообмена для развитого и кризисного процесса кипения жидкостей.

Материалы и методы

Для визуализации процессов тепломассопереноса в пористой системе охлаждения методом фотографирования, скоростной киносъёмки и голографической интерферометрии теплообменная система (рис. 1) выполняется из алундовой трубы с наружным диаметром $21x10^{-3}$ м.

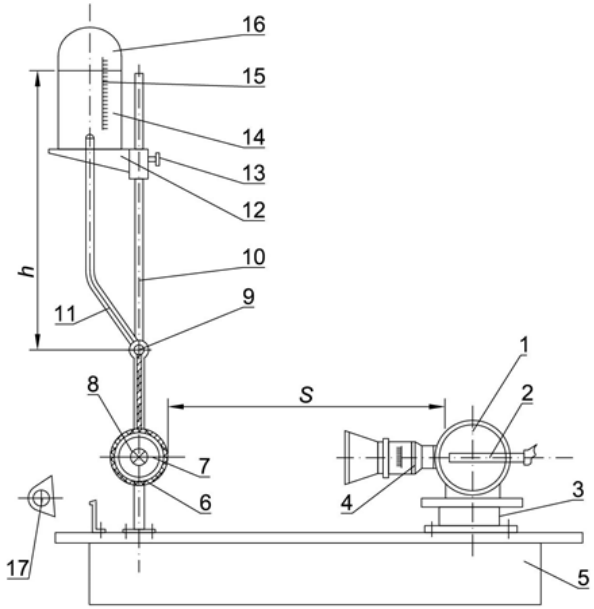


Рисунок 1 – Схема стенда для киносъёмки СКС-1М:
1 – камера; 2 – визир; 3 – штатив; 4 – объектив; 5 – плита; 6 – пористая структура; 7 – алундовая трубка; 8 – лампа КГ-220-1000-3; 9 – артерия; 10 – штатив; 11 – трубка; 12 – кронштейн; 13 – стопорный винт; 14 – вода; 15 – шкала; 16 – бак; 17 – прожектор

Применительно к энергоустановкам [2, 3] используются одно, двух – и трехслойные сетки с ячейками: 0.4, 0.14x0.4, 0.08x0.14x0.4. Тепловым источником служит галоидная кварцевая лампа типа КГ 220-1000-3, расположенная внутри трубы. Основные параметры лампы: напряжение – 220 В; мощность – 1000 Вт; световой поток – 26000 лм; светоотдача – 26 лм/Вт; полная длина – $180x10^{-3}$ м.

Свет от лампы просвечивает стенку алундовой трубы. Яркость свечения стенки достаточная для фотографирования и скоростной киносъёмки на пленке чувствительностью 350…700 единиц ГОСТа. Тепловая нагрузка регулируется напряжением, подаваемым на электроды лампы через ЛАТР-9А, и замеряется ваттметром типа Д539 кл. 0.5.

Наблюдение проводится при следующих удельных тепловых потоках: $4x10^4$ Вт/м^2; $6.7x10^4$ Вт/м^2; $9.4x10^4$ Вт/м^2 и $12x10^4$ Вт/м^2, а также для промежуточных значений q. Исследуются критические нагрузки, фотографируются динамические режимы работы системы в экстремальных условиях, когда прекращается доступ жидкости до полного пересыхания структуры, а затем жидкость вновь подается в артерию. Для структуры вида 0.14x0.4 изучается подвод жидкости против действия гравитационных сил [4–6].

Сьемка осуществляется после наступления стабильного теплового режима, что обычно занимает 5…7 минут. Расход охлаждающей жидкости принимается оптимальным. В некоторых случаях расход воды регулируется так, чтобы капели не было [7].

Визуальные наблюдения процессов тепломассопереноса производятся методом скоростной киносъёмки камерой СКС-1М. Фото и киносъёмка также осуществляются с помощью фотоаппаратов «Зенит», «РФК-5М» и киноаппаратов «Красногорск» и «Киев-16с».

В качестве объективов используются: И-61Л (фокусное расстояние $f = 50x10^{-3}$ м; светосила d = 1:28, 10-11 (f = 135, d = 1:4), Вега-7 (f = 50, d = 1:2) и РО (f = 50, d = 1:2).

Для сьемки применяется кино – и фотопленка типа А-2 шириной $16x10^{-3}$ м и номинальной чувствительностью 180…350 единиц ГОСТа. Время экспонирования составляет от 1/100 до 1/1000 секунды, диафрагма – от 2.8 до 16. В отдельных случаях устанавливается нейтральный 4-кратный фильтр, что позволяет при небольших скоростях киносъёмки и срабатывания затвора фотоаппарата вести сьемку с максимально открытой диафрагмой.

В качестве исходного параметра для набора частоты кадров и диафрагмы кино- и фото-съёмочной аппаратуры служит средняя продолжительность «жизни» парового пузыря, которая в зависимости от величины q предполагается равной 1/50…1/4000 секунды. Фотографирование производится с расстояния

0.4…0.7 м. Число действующих центров парообразования, отнесенное к единице поверхности нагрева, определяется по формуле:

$$\bar{n} = \left[\frac{\bar{M}}{F}\right] \times \frac{\left[\bar{\tau}_{\text{р}} + \bar{\tau}_{\text{о}}\right]}{\bar{\tau}_{\text{р}}},$$

где $\bar{M}$ – среднее число пузырей, одновременно «сидящих» на поверхности;

$\bar{\tau}_{\text{р}}$ – среднее время роста пузыря;

$\bar{\tau}_{\text{р}}$ – средний интервал времени между отрывом и появлением следующего пузыря [5].

Оценка надежности величины $\bar{M}$ под которой понимается математическое ожидание, производится с помощью доверительного интервала. Вероятность нахождения внутри интервала принимается равной 0.95. Величины доверительного интервала для $\bar{M}$ не превышают ±20 % от абсолютного значения $\bar{M}$.

Для определения отрывного диаметра пузыря производится покадровая обработка пленок. Записываются размеры всех лопнувших пузырей и вычисляются среднее значения. Доверительный интервал при надежности 0.95 не превышает ±20%.

Частота отрыва вычисляется по формуле:

$$\bar{f} = \bar{\tau}^{-1} = \frac{K}{\Delta\tau\bar{n}F},$$

где K – общее число пузырей, отрывающихся от поверхности за время $\Delta\tau$.

Определение скорости роста пузыря на поверхности нагрева осуществляется на экране «Микрофота», где измеряется диаметр отдельных пузырей через определенный интервал времени. За начало отсчета принимается момент времени, предшествующий появлению кадра с видимым паровым зародышем.

Для исследования процессов парообразования в пористых структурах методом голографической интерферометрии интерферометр собирается по двухлучевой схеме с плоским волновым фронтом в опорном пучке (рис. 2).

В качестве источника когерентного излучения используется гелиево-неоновый лазер 1 типа ЛГ-38 (мощность излучения 60x10^{-3} Вт, длина волны 0.6328x10^{-6} м). Светоделительный кубик 2 делит лазерный луч на опорный и сигнальный пучки. Опорный пучок разворачивается зеркалом 5 и, сформированный коллиматором 6, направляется в плоскость голограммы 10. Сигнальный пучок расширяется объективом 7 и с помощью зеркала 8 направляется на диффузный экран 9. От случайных лучей опорный пучок

защищен диафрагмой 4. Ступенчатый нейтральный светофильтр 3 позволяет выбирать необходимое соотношение интенсивностей опорного и сигнального пучков на стадиях регистрации и восстановления голограммы. Используется голографические пластинки ВЛ-Л.

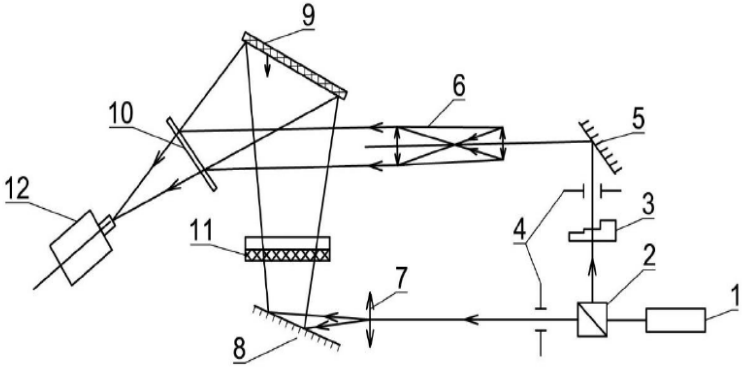


Рисунок 2 – Оптическая схема голографического интерферометра «на просвет»:
1 – лазер ЛГ-38; 2 – светоделительный кубик;
3 – ступенчатый нейтральный светофильтр; 4 – диафрагма;
5 – зеркало; 6 – коллиматор; 7 – объектив; 8 – зеркало;
9 – диффузный экран; 10 – плоскость голограммы;
11 – охлаждающий элемент; 12 – РФК-5М

Перед опытом получают голограмму исходного состояния объекта (диффузного экрана без системы охлаждения). Время экспонирования голограммы – 8 с. С целью исключения сложной юстировки системы пластинка обрабатывается (проявляется) на месте экспонирования. Затем в сигнальный пучок вводится охлаждаемый элемент 11. Регистрация интерферограмм при различных тепловых режимах производится фотокамерой 12 типа «РФК-5М», оснащенной объективом с фокусным расстоянием 210x10^{-3} м и относительным отверстием 1:4.5, на пленку КН-3. Фокусировка камеры осуществляется на мнимое изображение диффузного экрана, восстановленного голограммой. Скорость сьемки – 5 кадров в секунду, время экспонирования – 1/50 с. При сьемке кинокамерой «Красногорск» частота сьемки составляет 8 кадров в секунду. Величина экспозиции при регистрации фотоаппаратом «Зенит» – 1/50…1/30 с.

При обработке голографических фотоматериалов учитывается, что фотопластинки, выпускаемые промышленностью, сенсибилизированы к длине волны 0.6328x10^{-6} м. Используется также фотопленка типа Микрат-900 и ФПГ-В2. В связи с низкой чувствительностью фотоматериалов время экспонирования голограмм составляет до десятков секунд. Продолжительность проявления при температуре 20 °С принимается от 2 до 10 минут в зависимости от условий экспонирования. Далее следует промывка в проточной воде и фиксирование в обычном или кислом фиксаже в течение нескольких минут с последующей окончательной промывкой.

Описанная схема составлена на основе разработок по применению оптической голографии для исследования динамических объектов и быстропротекающих процессов. Сборка механических элементов лазерных установок, юстировка оптического квантового генератора и оптического квантового усилителя, а затем оптической голографической схемы производится в соответствии с [1].

Результаты и обсуждение

На рис. 3 качестве примера приводится явление выброса капель жидкости из капиллярно-пористой структуры виды 0.14x0.4 для тепловой нагрузки q = 94 кВт/м^2; избытка жидкости по отношению к расходу пара $\widetilde{m} = \frac{m_ж}{m_п} = 1.1.$

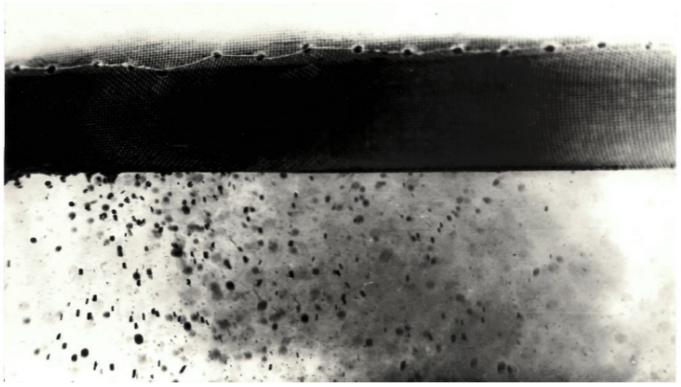


Рисунок 3 – Явление выброса капель жидкости из паровой структуры вида 0.14x0.4: q = 94x10^3 Вт/м^2; $\widetilde{m} = \frac{m_ж}{m_п} = 1.1.$

Выводы

Таким образом, разработаны установки для оптических методов исследования и показаны результаты обработки опытных данных в виде выброса капель жидкости, динамики развития паровой и жидкостной фаз для

различных условий теплообмена (вид структуры, q, $\widetilde{m} = \frac{m_ж}{m_п}$, τ, $\bar{\tau}_{жид}$, $\bar{n}$). Дана методика обработки опытных данных.

Список использованных источников

1 **Chang, Y. H.** Experimental investigation on bubble dynamics and boiling heat transfer for saturated pool boiling and comparison data with previous works. Applied Thermal Engineering. – Volume 154. – 25 May 2019. –P. 284–293. – https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.03.092 [статья на англ. яз.]

2 **Chuang, T. J.** Investigating effects of heating orientations on nucleate boiling heat transfer, bubble dynamics, and wall heat flux partition boiling model for pool boiling. Applied Thermal Engineering. – Volume 163. –25 December 2019. – 114358. – https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114358 [статья на англ. яз.]

3 **Kimihide Odagiri, Hosei, Nagano**. Investigation on liquid-vapor interface behavior in capillary evaporator for high heat flux loop heat pipe // International Journal of Thermal Sciences. – Volume 140. – June 2019. – P. 530–538. – https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.03.008 [статья на англ. яз.]

4 **Jian, Li.** Pore scale simulation of evaporation in a porous wick of a loop heat pipe flat evaporator using Lattice Boltzmann method. International Communications in Heat and Mass Transfer. – Volume 102, March 2019. – P. 22–33. – https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.01.008 [статья на англ. яз.]

5 **Alekseik, O. S., Kravets V. Yu.** Phisycal model of boiling process on porous surface in limited space // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – 4, 8 (64). – С. 26–31. – https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.16448 [статья на англ. яз.]

6 **Xing Yang, et al.** Turbine platform phantom cooling from airfoil film coolant, with purge flow // International Journal of Heat and Mass Transfer. – Vol. 140. – September 2019. – P. 25–40. – https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.109 [статья на англ. яз.]

7 **Genbach, A. A., Bondartsev, D. Yu., Beloev, H. I., Genbach, N. A.** Boiling crisis in porous structures // Energy. – 2022. – 259. – 125076. – https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125076 [статья на англ. яз.]

8 **Genbach, A. A., Bondartsev, D. Yu., Iliev, I. K., Georgiev, A. G.** Scientific method of creation of ecologically clean capillary-porous systems of cooling of power equipment elements of power plants on the example of gas turbines // Energy. – 2020. – 199. – 117458. – https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117458 [статья на англ. яз.]

9 **Genbach, A. A., Bondartsev, D. Yu., Beloev, H. I.** Comparison of Cooling Systems in Power Plant Units // Energies. – 2021. – 14. – 63–65. – https://doi.org/10.3390/en14196365 [статья на англ. яз.]

10 **Polyaev, V. M., Genbach, A. A.** Control of heat transfer in a porous cooling system // Second world conference of experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics. – 1991. – Dubrovnik, Yugoslavia, 23–28 June. – P. 639–644. [статья на англ. яз.]

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**А. А. Генбач[1], Д. Ю. Бондарцев[2], Н. А. Генбач*
Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЭНЕРГИЯ ЖАБДЫҒЫНЫҢ ТҮТІК-КЕУЕКТІ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНДА ЖЫЛУ АЛМАСУЫН КӨРСЕТУ

Текшелер мен қондырғылар әзірленіп, түтік-кеуекті құрылымдарда оптикалық әдіспен сұйықтықтың қайнау үдерісі зерттелді: голографиялық интерферометриямен, жылдам кино түсірумен және фототүсірумен. Текшелердің сұлбасы динамикалық нысандар мен жылдам ағып өтетін үдерістерді зерттеу үшін оптикалық голографияны пайдалану бойынша әзірлеме негізінде жасалды. Тәжірибе шарттары және қайнаудың ішкі сипаттамаларын өңдеу әдістемелері берілді. Құрылым түріне, жылу жүктемесіне, сұйықтық артықтығына, «өмір сүру» уақытына, буға айналу орталығының тығыздығына байланысты интерферограмма түрінде тәжірибелі деректерді өңдеу нәтижелері келтіріледі. Қадағалау келесі меншікті жылу ағындарында жүргізіледі: 4x10^4 Вт/м^2; 6.7x10^4 Вт/м^2; 9.4x10^4 Вт/м^2 және 12x10^4 Вт/м^2. 0.14x0.4 түріндегі құрылым үшін гравитациялық күш әрекетіне қарсы сұйықтықты келтіру игерілуде. Көпіршіктің үзбелі диаметрін анықтау үшін қабықшаны кадрлап өңдеу жүрізіледі. Кадрлардың жиілігін және кино және фототүсіру аппаратурасының диафрагмасын жинау үшін бастапқы параметр ретінде бу көпіршігі «өмірінің» орташа ұзақтығы қызмет атқарады, ол q шамасына байланысты 1/50…1/4000 секундқа тең. Когерентті сәулелену көзі ретінде гелий-ненондық лазер пайдаланылады. Жүйенің күрделі тураланyын болдырмау үшін табақша экспонирлеу орнында өңделеді (пайда болады).

Кілтті сөздер: эксперименттік қондырғылар, көрсету, фотокамера, лазер, энергия жабдығы.

**A. A. Genbach[1], D. Yu. Bondartsev[2], N. A. Genbach[3]*
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after G. Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 20.06.23.

VISUALIZATION OF HEAT EXCHANGE IN CAPILLARY POROUS STRUCTURES OF POWER EQUIPMENT

Stands and facilities were developed and processes of liquid boiling in capillary porous structures were studied by optical methods: holographic interferometry, high-speed shooting and photographing. The stand schemes are based on the developments of the optical holography application for the study of dynamic objects and high-speed processes. The conditions of the experiments and the methodology of processing the internal characteristics of boiling are given. The results of processing the experimental data in the form of an interferogram depending on the type of structure, heat load, liquid excess, life time and the density of evaporation sites are given. The observation is carried out at the following specific heat fluxes: 4x10^4 W/m^2; 6.7x10^4 W/m^2; 9.4x10^4 W/m^2 and 12x10^4 W/m^2. For the structure of 0.14x0.4 form, the fluid supply is studied against the action of gravitational forces. To determine the diameter of a bubble at departure, a framing films processing is performed. As an initial parameter for setting the frame rate and the diaphragm of the film and photo instrument, the average life time of the vapor bubble is used, which is assumed to be 1/50...1/4000 second depending on the value of q. A helium-neon laser is used as a source of coherent radiation. In order to avoid complicated system calibration, the plate is processed (visualized) at the exposure site.

Keywords: experimental facilities, visualization, picture camera, laser, power equipment.

SRSTI 44.37.29

https://doi.org/10.48081/RGMZ4495

T. I. Glushchenko[1], T. V. Bedych[2] , M. L. Fyodorova[3], B. B. Issabekova[4] , N. U. Bizhanov[5]

[1,3,5]Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Republic of Kazakhstan, Kostanay;
[2]Kostanay Engineering and Economic University named after M. Dulatov, Republic of Kazakhstan, Kostanay;
[4]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
*e-mail: tatyana194@inbox.ru

ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY

The article considers the relevance of the use of autonomous power systems powered by renewable energy sources for use in the agricultural sector in the conditions of the Kostanay region. The main features of energy supply systems from the point of view of the rationality of their construction with a low population density and developed agriculture are considered. The share of the component in the structure of the cost price and tariffs for electricity associated with the generation of electric power is given. The share of electric energy costs in the production of agricultural products is determined and ways to reduce them are outlined. The possibility of using hybrid autonomous power plants for water supply for agricultural needs is considered. The article presents the device and the principle of operation of alternative technologies for obtaining thermal, mechanical and electrical energy using a solar water jet and a greenhouse generator. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of the considered alternative technologies is carried out, on the basis of which design changes and improvements to existing structures are proposed. It is proposed to use a Stirling engine to generate mechanical energy in conjunction with a greenhouse generator, allowing the wind generator to generate electrical energy. The main advantages and versatility of the hybrid design, in comparison with the original ones, allowing the use of renewable energy, are noted.

Keywords: energy of sun; wind energy; heliojet; greenhouse generator; power supply systems.

Introduction

Prospects of the use of renewable energy sources is dictated by the diversification of energy sources, energy security of the country, the use of the requirements of international agreements in the field of ecology, the development of new technologies in the field of energy supply and energy efficiency characterizing the relevance of developed ideas [1, 2].

The strategic potential for the use of renewable energy resources in the world is huge. According to experts, they are many times higher than the most optimistic estimates of traditional hydrocarbon fuels, which make the prospect of their use very attractive [3,4]. The share of renewable energy usage in the world continues to grow every year. The feasibility and scale of the use of renewable energy sources are determined primarily by their economic efficiency and competitiveness with traditional energy technologies [5,6].

Renewable energy has a number of advantages over traditional energy sources:

- independence from traditional energy related to the use of fossil fuels, in conditions of its limited and uneven distribution among countries;
- independence from price volatility in the global fossil energy market;
- inexhaustibility of renewable energy sources;
- eco-friendly use in the absence of waste and the release of pollutants;
- adaptability to the usage [7].

One of the priorities for the development of the electric power industry and the solution of environmental problems in Kazakhstan is the use of renewable energy resources. According to expert estimates, the potential of renewable energy resources (hydropower, wind and solar energy) in Kazakhstan is very significant. The share of renewable energy sources in the total volume of electricity production in the Republic is 0.5 % [8].

The following types of renewable energy sources are most promising for the territory of Kostanay region: wind power; small hydroelectric power plants; solar installations for the production of heat and electricity. Near Tobyl town the construction of the Ybray wind power station is going on, the first stage of which is already in operation.

Since the area is dominated by agriculture, the use of biomass energy is obvious. Also, we should not forget about the use of solid household waste and wastewater for energy production, solving the problem of waste accumulation and energy production at the same time [9].

Materials and methods

A characteristic feature of Kostanay region is a relatively low population density and developed agriculture. In this regard, it is important to use autonomous

power plants from renewable energy, which allow you to provide electricity and heat to stand-alone social facilities, residential buildings and production facilities [10].

This article is devoted to the use of alternative technologies for processing renewable energy in autonomous power plants to provide water supply, mechanical, thermal and electrical energy to consumers [11].

The tasks that make it possible to achieve this goal are:

- consider existing alternative technologies for generating energy from renewable sources, their advantages and disadvantages;
- improve the efficiency of autonomous systems.

To achieve this goal, various scientific methods were used, such as the analysis of the literature on the problem under study, generalization, comparison and systematization of theoretical and empirical data.

As it is known, the main disadvantage of renewable energy is the frequency of energy flows. Solar energy can be consumed in the daytime, while wind energy in nature exists regardless of the time of day. If we consider the potential energy flows by season, we can note the following, that the potential of solar energy prevails in the summer, and wind energy in the winter. Thus, the combination of different types of renewable energy in a single system eliminates the problem of instability of energy flows. Autonomous stations combine several different energy sources that complement each other and stabilize energy flows. Renewable energy extraction technologies are diverse and have a number of specific features [12].

It is known that in the process of extraction, production, transportation, storage, consumption of organic energy resources (fuels), at all the listed successive stages of the promotion of energy from primary sources and at all stages of energy use in material production and the service sector as a whole, about 90 % of energy is lost compared to the initial level [13,14].

In the structure of the cost price and electricity tariffs 27 % is generated by basic power plants. The rest of the components are related to transportation, distribution, and energy losses. Therefore, the power supply of remote settlements from centralized systems is not economically profitable, since it requires large capital investments for the construction of power transmission lines and transformer substations. At the same time, the share of electric energy costs associated with the processing and production of agricultural products is 34 %. Thus, the use of autonomous power plants is economically feasible [15].

One of the ways to solve the problem of consumption and production is to generate the necessary types of energy in remote areas through the use of renewable energy sources directly near the consumer.

In electronic publications, numerous systems and installations of renewable energy are widely presented under various names, each of them has its own advantages and disadvantages, depending on the geographical location of the

energy consumer, the operating mode, and the temporary needs for certain types of energy. In addition to traditional methods of energy utilization of renewable resources, alternative technologies for using the heat of solar radiation are being developed [16–19].

Taking into account the specifics of agriculture, watering and irrigation during the growing season of crops, water for livestock, it should be noted that almost 80 % of the cost of water supply is electric energy. Russian scientists have proposed the use of solar water jets for these purposes. To solve the problem of reliable and inexpensive water supply, solar energy can be used; after all, for irrigation, for example, fields need an average of about 0.5 kW of installed capacity per 1 ha (0.05 MW/km^2) [13].

The solar water jet is powered by a solar concentrator and solar heat stored by a salt pond. The heat from the pond is fed through a heat pipe (thermosiphon) to the water jet, which is a Stirling engine with a water pump, where it is converted into the energy of the water flow (liquid) in the thermodynamic cycle. The heat not used in the thermodynamic cycle of the water jet is diverted through the heat pipe: either through the cooled part of it into the pit filled with ice, causing it to melt, or it is dispersed into the environment through its air-cooled part. Thermosyphons are vacuum tubes in which heat is transferred by boiling the working fluid (for example, water) in one place (lower) and condensing in another – upper (Figure 1).

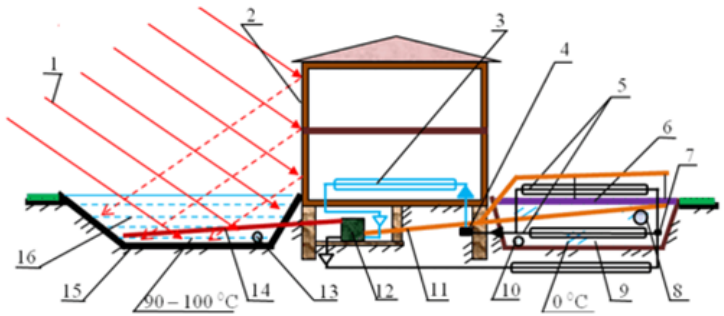


Figure 1 – Design of the solar water jet
1 – solar radiation; 2 – solar radiation concentrator; 3 – thermal insulation coating; 4 – pit filled with ice; 5, 8 – thermal gravity pipe (thermosiphon); 6 – air duct; 7 – water jet (Stirling engine with water pump); 9 – solar salt pond; 10 – water supply; 11 – ground; 12 – cooled part of the thermal gravity pipe 5, placed in the air – the perimeter fence of pit 4; 13 – cooled part of the heat pipe 5, located in the ice/water of pit 4

The disadvantage of such a device is the large area and volume of the pond and the pit with ice, the presence of a large solar energy concentrator. For efficient operation of the solar water jet, an automatic process control system and the use of excess heat energy are preferred.

The idea of using the energy of an artificial tornado-like flow excited by the wind, running into a tower with blinds that opened from different sides in relation to the direction of the wind flow, was developed in the works of D. Yen. In one of the modifications of the models of the greenhouse power plant of the Canadian meteorologist Michaud, the possibility of forming an artificial wind by fire tornado-like vortices of the «dust devils» type was envisaged. It was proposed to enclose the tornado - vortex created by heating the underlying surface of the collector in a low tower, in which periodic impacts on the lower part of the swirling flow are organized. According to the author, to obtain large values of electrical power with the help of a tornado, there is no need to create a high pipe [20].

Results and discussion

In this regard, we can consider the process of converting thermal energy in solar wind generators, which create air flows initiated by solar heating of the air environment in semi-closed «greenhouse» systems. Designs of power plants have been developed that allow concentrating the energy of direct and scattered solar radiation, converting it into the energy of air flows with subsequent generation of electrical energy. Such constructions are based on the proposed I. Cabanes model of a greenhouse power plant, which he called a solar engine, (Figure 2) actually used the principle of operation of a chimney.

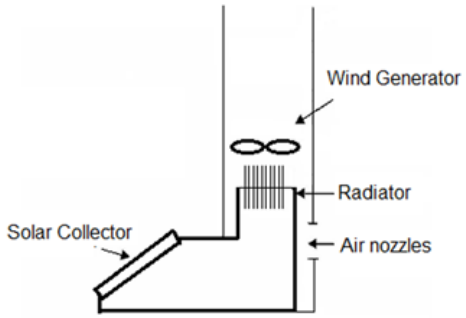


Figure 2 – Model of a greenhouse generator

The main disadvantages of this model are the low efficiency and large dimensions. Calculations of the efficiency of the model performed in the approximation of the ideal Carnot cycle and therefore led to relatively low values

of the efficiency coefficient. Meanwhile, it is necessary to pay attention to a number of fundamental design features of the solar engine model, which were lost later in the development of technologies for the aeromechanical method of converting solar energy and allowing us to clarify the real thermodynamic cycle. These are the unsymmetrical configuration of the solar collector, its tightness along the circular periphery, and the flow of air into the chamber through a limited-sized and flow-controlled inlet, similar to a furnace air-charging device that increases the draft in the chimney. An analysis of the design features of the solar water jet and the greenhouse generator suggests that by combining these devices into one system, it is possible to partially eliminate the shortcomings of each separately and increase the efficiency of solar energy conversion.

The hybrid model is based on a greenhouse generator, in which the energy of the sun is converted into thermal energy by means of a solar collector. The thermal energy is converted into mechanical energy with the help of the Stirling engine and drives the water pump in action. A wind generator is installed in the upper part of the pipe, which converts the energy of the wind flow into electrical energy (Figure 3).

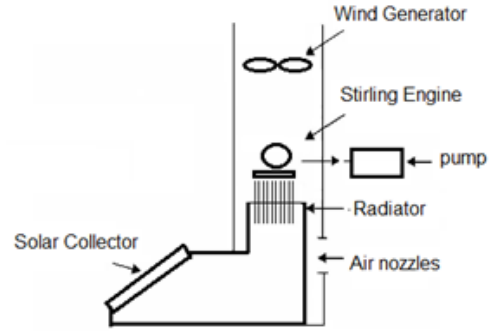


Figure 3 – Model of an upgraded greenhouse generator

Thus, the joint model allows both generating mechanical energy for agricultural water supply and generating electrical energy. If necessary, it is possible to use this installation for heat supply and hot water supply of buildings in rural areas. It is established that the intensity of the conversion of radiant energy into mechanical energy can vary due to the optimization of the peripheral angular momentum along the height of the vortex near the underlying surface. Using the swirling air flow, you can increase the efficiency of the greenhouse generator.

The proposed model does not contain a salt pond and an ice pit. The concentrators have been replaced with solar collectors, which do not require

automatic control when the position of the sun changes. Their design is simplier and more reliable in operation.

Another very important advantage is the versatility of using such an installation. It can generate mechanical, electrical, and thermal energy simultaneously with the priority of some type of energy. An integrated approach to generating various types of energy allows us to solve the problem of autonomous provision of detached buildings and structures.

Conclusion

Based on the results of the study, the following conclusions can be drawn:

1 Environmental policy is a priority direction of the state's development, meets modern global trends in the field of energy conservation and the development of green energy. The geographical location and economic specifics of the region assume the development of autonomous systems based on renewable energy for electricity, heat and water supply;

2 Agricultural industries are developing in Kostanay region, mainly small peasant farms that require small energy capacities while generating electric and thermal energy at the same time;

3 For autonomous power supply, it is proposed to use a greenhouse power plant, which can be improved to generate electrical, mechanical and thermal energy for agricultural needs and household consumption;

4 It is possible to develop both stationary and mobile designs of autonomous energy systems based on a greenhouse generator.

References

1 **Тургель, И., Божко, Л., Бисеров, Э., Найзабеков, А.** Приоритеты государственной экологической политики России и Казахстана: глобальная повестка и региональная проекция [Текст] // Экологические и климатические технологии. – 2020. – № 24(1). – С. 638–652.

2 **Адильбеков, Э. К., Султанов, Т. Т.** Обзор возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан [Текст] // Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. – 2018. – № 1(122). – С. 8–14.

3 **Safaraliev, M. K., Odinaev, I. N., Ahyoev, J. S.,** et al. Energy Potential Estimation of the Region's Solar Radiation Using a Solar Tracker [Text] // Applied Solar Energy. – 2020. – №4(56). – P. 270–275.

4 **Sadullayev, N. N., Safarov, A. B., Nematov, S. N., et al.** Opportunities and Prospects for the Using Renewable Energy Sources in Bukhara Region, [Text]. Applied Solar Energy. – 2020. – № 4(56). – P. 291–300.

5 **Тургель, И.** и др. Воздействие зон с особым статусом на окружающую среду (опыт Росии и Казахстана) [Текст] // Экологические и климатические технологии. – 2019. – №2(23). – С.102–113.

6 **Тургель, И., Панзабекова, А., Сатпаева, З.** Сравнительный анализ подходов к созданию института осени регулирующего воздействия в России, Казахстане и Кыргызстане [Текст]. Экологические и климатические технологии. – 2019. – № 2(23). – С. 102–113.

7 **Исмуратов, С. Б., Бедыч, Т. В., Глущенко, Т. И., Исмуратов, Д. С., Кухар, В. С.** Модель прогнозирования мощности автономной электростанции [Текст] // Международный журнал машиностроения и технологий. – 2019. – №10. – С. 613–619.

8 **Гребенева, О. В., Алешина, А. И., Смагулов, Н. К.** Современная оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Караганды [Текст] // Медицина и экология. – 2018. – № 3(88). – С. 26–32.

9 **Prashant, V. Baredar, S. T., Chetan, S. S.** Advances in Energy Technology Select Proceedings of EMSME 2020 : Select Proceedings of EMSME 2020 [Text]. – Singapore : Springer. – 2022. – P. 783.

10 **Rezaei, M. M., Saboohi, Y.** Optimal design of renewable integrated heat and electricity supply systems with genetic algorithm: household application in Iran [Text] // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2019. – № 17. – P. 2185–2196.

11 **Kozyaruk, A. E., Khitrov, A. A., Khitrov, A. I.** An energy-efficient autonomous energy supply system based on an external combustion engine [Text] // Russian Electrical Engineering. – 2016. – № 3(87). – P. 119–124.

12 **Korhonen, J.** Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology [Text] // Journal of Cleaner Production. – 2004. – № 12. – P. 809–823.

13 **Осадчий, Г. Б.** Возобновляемые источники энергии Южного Урала [Текст]. – Омск : ИПК Макшеева Е. А 2010. – С. 572.

14 **Miezis, M., Zvaigznitis, K., Stancioff, N., Soeftestad, L.** Climate Change and Buildings Energy Efficiency – the Key Role of Residents [Text] // Environmental and Climate Technologies. – 2016. – № 17(1) – P. 30–35.

15 **Daly, H. E.** Toward some operational principles of sustainable development [Text] // Ecological economics. – 1990. – № 2(1). – P. 1–6.

16 **Zhou, X. P., Yang, J. K., Ochieng, R. M.** A review of solar chimney power technology [Text] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – № 14(8), – P. 2315–2338.

17 **Hao, Zh., Zhi, M. L., Tong, W., Ming, J. Y., Run, Sh. T.** Performance of a Solar Drying System Driven by a Hybrid Power System [Text] // Advanced Materials Research. – 2012. – №455-456. – P. 139–146.

18 **Zhai, X. Q., Wang, X. L., Pei, H. T., Yang, Y., Wang, R. Z.** Experimental investigation and optimization of a ground source heat pump system under different indoor set temperatures [Text] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2012. – № 19(48). – P. 105–116.

19 **Xing, L., Li, X., Akhatov, J. S.** Feasibility and Performance Study of Solar Combined Heat and Power System with Absorption Heat Pump in Uzbekistan. [Text] // Applied Solar Energy. – 2020. – № 6(56). – P. 498–507.

20 **Solovyev, A. A., Bodronosov, A. V.** Effect of a surface temperature on development of a convective vortex [Text] // Proceedings Acad. Sci. USSR, Physic of atmosphere and ocean. – 1982. – № 18(3). – P. 331–340.

References

1 **Turgel, I., Bozhko, L., Biserov, E., Naizabekov, A.** Prioritety gosudarstvennoi ekologicheskoi politiki Rosii i Kazahstana : globälnaia povestka i regionälnaia proeksia [Priorities of the State Environmental Policy of Russia and Kazakhstan: Global Agenda and Regional Projection] [Text] // Environmental and Climate Technologies. – 2020. – № 24(1). – P. 638–652.

2 **Adilbekov, E. K., Sultanov, T. T.** Obzor vozobnovläemyh istochnikov energii v Respublike Kazahstan [Review of renewable energy sources in the Republic of Kazakhstan [Text] // Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University. Series : Technical Science and Technology. – 2018. – № 1(122). – P. 8–14.

3 **Safaraliev, M. K., Odinaev, I. N., Ahyoev, J. S.,** Energy Potential Estimation of the Region's Solar Radiation Using a Solar Tracker [Text] // Applied Solar Energy. – 2020. – № 4(56). – P. 270–275.

4 **Sadullayev, N. N., Safarov, A. B., Nematov, S. N.,** et al. Opportunities and Prospects for the Using Renewable Energy Sources in Bukhara Region [Text] // Applied Solar Energy. – 2020. – № 4(56). – P. 291–300.

5 **Turgel, I., et al.** Vozdeistvie zon s osobym statusom na okrujaiuşuiu sredu (opyt Rosii i Kazahstana) [Impact of Zones with Special Status on the Environment (Experience of Russia and Kazakhstan)] [Text] // Environmental and Climate Technologies. – 2019. – № 2(23). – P. 102–113.

6 **Turgel, I., Panzabekova, A., Satpayeva, Z.** Sravnitelnyi analiz podhodov k sozdaniu instituta osenki reguliruiuşego vozdeistvia v Rosii, Kazahstane i Kyrgyzstane [Comparative analysis of approaches to designing of regulatory impact assessment institute in Russia, Kazakhstan, and Kyrgyzstan] [Text] // Environmental and Climate Technologies. – 2019. – № 2 (23). – P. 102–113.

7 **Ismuratov, S. B., Bedych, T. V., Glushchenko, T. I., Ismuratov, D. S., Kukhar, V. S.** Forecasting model for capacity of autonomous power station [Text] // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2019. – №10. – P. 613–619

8 **Grebeneva, O. V., Yu, N., Aleshina, A. I., Smagulov, N. K.** Sovremennaia osenka zagräznenia vozduha v Karagande [Modern assessment of air pollution in Karaganda]. [Text] // Medicine and Ecology. – 2018. – №3(88). – P. 26–32.

9 **Prashant, V. B., Srinivas, T., Chetan, S. S.** Advances in Energy Technology Select Proceedings of EMSME 2020 : Select Proceedings of EMSME 2020 [Text]. – Singapore : Springer, 2022. – P. 783.

10 **Rezaei, M. M., Saboohi, Y.** Optimal design of renewable integrated heat and electricity supply systems with genetic algorithm : household application in Iran [Text] // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2019. – № 17. – P. 2185–2196.

11 **Kozyaruk, A. E., Khitrov, A. A., Khitrov, A. I.** An energy-efficient autonomous energy supply system based on an external combustion engine [Text] // Russian Electrical Engineering. – 2016. – № 3(87). – P. 119–124.

12 **Korhonen, J.** Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology [Text] // Journal of Cleaner Production. – 2004. – № 12. – P. 809–823.

13 **Osadchiy, G. B.** Vozobnovläemye istochniki energii İujnogo Urala [Solar energy, its derivatives and technologies for their use] [Text]. – Omsk : IPK Maksheeva E.A., 2010. – P. 572.

14 **Miezis, M., Zvaigznitis, K., Stancioff, N., Soeftestad, L.** Climate Change and Buildings Energy Efficiency – the Key Role of Residents [Text] // Environmental and Climate Technologies. – 2016. – № 17(1) – P. 30–35.

15 **Daly, H. E.** Toward some operational principles of sustainable development [Text] // Ecological economics. – 1990. – № 2 (1). – P. 1–6.

16 **Zhou, X. P., Yang, J. K., Ochieng, R. M.** A review of solar chimney power technology [Text] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – № 14(8). – P. 2315–2338.

17 **Hao, Zh., Zhi, M. L., Tong, W., Ming, J. Y., Run, Sh. T.** Performance of a Solar Drying System Driven by a Hybrid Power System [Text] // Advanced Materials Research. – 2012. – №455–456. – P. 139–146.

18 **Zhai, X. Q., Wang, X. L., Pei, H. T., Yang, Y., Wang, R. Z.** Experimental investigation and optimization of a ground source heat pump system under different indoor set temperatures [Text] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2012. – № 19(48). – P. 105–116.

19 **Xing, L., Li, X., Akhatov, J. S.** Feasibility and Performance Study of Solar Combined Heat and Power System with Absorption Heat Pump in Uzbekistan. [Text] // Applied Solar Energy. – 2020. – № 6(56). – P. 498–507

20 **Solovyev, A. A., Bodronosov, A. V.** Effect of a surface temperature on development of a convective vortex [Text] // Proceedings Acad. Sci. USSR, Physic of atmosphere and ocean. – 1982. – № 18 (3). – P. 331–340.

Material received on 20.06.23.

**Т. И. Глущенко[1], Т. В. Бедыч[2], М. Л. Фёдорова[3],*
Б. Б. Исабекова[4], Н. У. Бижанов[5]
[1,3,5]А. Байтұрсынова атындағы Қостанай өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.;
[2]М. Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.;
[4]Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

АВТОНОМДЫ ЭНЕРГИЯМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН БАЛАМА ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Мақалада Қостанай облысында ауыл шаруашылығы саласында қолдану үшін жаңартылатын энергия көздерінен жұмыс істейтін дербес энергия жүйелерін пайдаланудың өзектілігі қарастырылған. Халықтың тығыздығы төмен және дамыған ауыл шаруашылығы кезінде оларды құрудың ұтымдылығы тұрғысынан энергиямен қамтамасыз ету жүйелерінің негізгі ерекшеліктері қаралды.. Электр энергиясын өндіруге байланысты электр энергиясының өзіндік құны мен тарифтері құрылымындағы құраушының үлесі келтірілген. Ауыл шаруашылығы өнімдерін өндіруде электр энергиясына жұмсалатын шығындардың үлесі айқындалды және оларды төмендету жолдары белгіленді. Ауыл шаруашылығын сумен жабдықтау үшін гибридті автономды энергия қондырғыларын пайдалану мүмкіндігі қаралды. Гелиомет пен парниктік генератордың көмегімен жылу, механикалық және электр энергиясын өндірудің балама технологияларының құрылғысы, жұмыс принципі ұсынылған. Қарастырылған балама технологиялардың артықшылықтары мен кемшіліктеріне салыстырмалы талдау жүргізілді, соның негізінде қолданыстағы конструкцияларға құрылымдық өзгерістер мен толықтырулар ұсынылды. Стирлинг қозғалтқышын парниктік генератормен бірге механикалық энергия алу үшін пайдалану ұсынылады, бұл жел генераторы арқылы электр энергиясын өндіруге мүмкіндік береді. Жаңартылатын энергияны пайдалануға мүмкіндік беретін түпнұсқалармен салыстырғанда гибридті құрылымның негізгі артықшылықтары мен әмбебаптығы атап өтілді.

Кілтті сөздер: күн энергиясы; жел энергиясы; гелиомет; парниктік генератор; энергиямен жабдықтау жүйелері.

**Т. И. Глущенко[1], Т. В. Бедыч[2], М. Л. Фёдорова[3],*
Б. Б. Исабекова[4], Н. У. Бижанов[5]
[1,3,5]Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова,
Республика Казахстан, г. Костанай;
[2]Костанайский инженерно-экономический университет
имени М. Дулатова, Республика Казахстан, г. Костанай;
[4]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

В статье рассмотрена актуальность использования автономных энергосистем, работающих от возобновляемых источников энергии, для применения в сельскохозяйственной отрасли в условиях Костанайской области. Рассмотрены основные особенности систем энергообеспечения с точки зрения рациональности их построения при низкой плотности населения и развитом сельском хозяйстве. Приведена доля составляющей в структуре себестоимости и тарифов на электроэнергии, связанная с генерированием электричкой энергии. Определена доля затрат на электрическую энергию в производстве сельскохозяйственной продукции и намечены пути их снижения. Рассмотрена возможность использования гибридных автономных энергоустановок для водоснабжения для сельскохозяйственных нужд. Представлены устройство, принцип действия альтернативных технологий получения тепловой, механической и электрической энергии с помощью гелиоводомета и парникового генератора. Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков рассмотренных альтернативных технологий, на основе которых предложены конструктивные изменения и доработки в существующие конструкции. Предложено использование двигателя Стирлинга для получения механической энергии в совокупности с парниковым генератором, позволяющих посредством ветрогенератора вырабатывать электрическую энергию. Отмечены основные преимущества и универсальность гибридной конструкции, в сравнении с исходными, позволяющей использовать возобновляемую энергию.

Ключевые слова: энергия солнца; энергия ветра; гелиоводомёт; парниковый генератор; системы энергоснабжения.

SRSTI 50.47.29

https://doi.org/10.48081/AZBD4211

***U. Zhalmagambetova[1], T. Makhmud[2]**
[1,2]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
*e-mail: ultuara@mail.ru

MODERNIZATION OF THE AUTOMATED SYSTEM TECHNOLOGIAL PROCESS OF SALT EXTRACTION

This article provides the development of a new automated system for the technological process of salt extraction, based on the principles of integrating existing technologies and innovative developments. The results of testing this system will be presented, an analysis of its effectiveness, economic benefits will be carried out, and recommendations for its use will be given.

The paper considers the existing salt extraction technologies and automated control systems used in production, analyze their shortcomings and problems, raises issues related to product quality, energy efficiency, economy and safety of salt extraction technological processes. The technological process of salt crystallization is considered as a model. This model implies a two-stage adjustment of the cooling temperature of the hot salt solution at the outlet of the heat exchanger. This allows you to see the effectiveness of the implementation of the improved method of salt extraction. The paper will present an integrated approach to the problems of automating the technological process of salt extraction, which will provide new knowledge and competencies in this area.

Keywords: technological process, automated systems, salt extraction, improvement, management, product quality.

Introduction

Currently industry plays an important role in the economy, one of which is the extraction of mineral resources such as salt. Automated salt mining process systems have become increasingly popular and in demand among manufacturers due to the growing demand for this product, as well as the need to optimize production processes and improve product quality.

Salt mining is widely used in almost all areas of industry and is one of the most important natural resources on earth. First of all, the mineral is vital in the food industry, since not a single concentrate, not a single food additive can do without the use of this component. In medicine, various medical preparations

and injection solutions are created on the basis of salt to strengthen the immune system [1]. In the chemical industry, the mineral is used to produce chlorine and hydrochloric acid. Oil and gas business uses the properties of salt to create a special solution when drilling wells.

Salt is now available to everyone. This food product is continuously consumed by a person, so its reserves must be replenished every day. To ensure the efficiency and safety of the salt extraction process, it is necessary to use modern methods and techniques, as well as automated control and monitoring systems. This article is relevant and has great practical significance. At the moment, existing systems need to be improved and modernized in order to ensure a more efficient and safe operation in the salt production.

Materials and methods

Modernization of the automated system of the technological process of salt extraction may include the following changes:

- Software update. New programs may provide more control over the process and provide more information about production.

- Installation of new equipment. More modern equipment can be used to improve process control and management.

- Implementation of a monitoring and control system. The new sensors and instruments will enable the mining process to be monitored more precisely, which will increase productivity and safety.

- Introduction of automatic control system. The automatic control system will allow faster and more accurate response to changes in the production process.

-Training. Training staff to work with new equipment and software, as well as understanding how changes will affect the process, will help to implement new technologies more efficiently.

Modernization of the automated system of the technological process of salt [2] extraction will improve the efficiency and safety of the work process, which, in turn, will lead to cost reduction and increase in profits.

Traditionally, technical rock salt is mined in mines at great depths, natural layers of rock salt deposits are developed using special machines, the salt is crushed and rises to the surface, where it subsequently undergoes special processing and grinding into small fractions. Mined from great depths, rock salt is the most environmentally friendly among all existing types of technical salt. Salt is also mined by natural evaporation of saline solutions obtained by dissolving salt layers lying close to the surface of the earth with water. Basically, the extraction of self-planting technical salt is carried out in salt lakes. When collecting salt from the bottom of lakes, various techniques are used. The use of modern technologies at this stage of salt extraction implies the continuous operation of multi-ton combines, bulldozers and tractor loaders installed on the railway tracks.

There are a variety of methods to produce purer edible salt suitable for human use. Among them, there is a rock salt recrystallization method, which we will consider as an automation model. This method makes it possible to obtain pure salt in a cheaper way than by vacuum evaporation. To begin with, rock salt is mixed with the mother liquor remaining after secondary crystallization. Then, the salt pulp is stirred with live steam, the condensation of which leads to the dissolution of salt crystals at 100–105 °C. The undissolved part containing impurities (anhydrite, etc.) is separated in a settling tank, and the hot solution is sent for crystallization in two stages – when it is cooled to 80 °C, then to 50 °C. Salt from the crystallizers is squeezed out in centrifuges and dried. This method also has an advantage over vacuum evaporation from an economic point of view, since it does not require such an amount of steam consumption.

The process of two-stage cooling of a hot solution by using a food heat exchanger is taken as a basis. Equipment of this type is actively used in many industries. The unit works on the principle of surface heat exchange, it is used for heating, cooling, pasteurization and evaporation of various products. As an automated system, let's consider a tubular heat exchanger, which provides a high flow rate of liquid through the pipe, which reduces the likelihood of scale formation on the walls caused by the chemical properties of salt. Shell and tube heat exchanger manufacturers divide the design of the heat exchanger into three main parts, such as the header for the front end, the casing and, directly, the header for the rear end, which are indicated by special symbols. The work of a shell-and-tube heat exchanger is that cold and hot working environments move through different shells, and heat exchange occurs in the space between them [3].

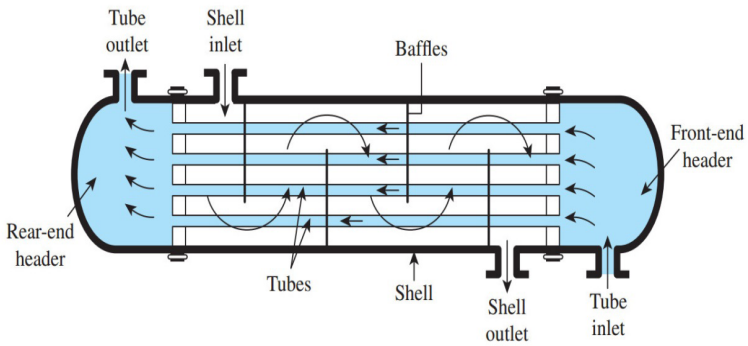


Figure 1 – Shell and tube heat exchanger

Shell and tube heat exchangers are the most popular types of exchangers. It is constructed of 2 main parts: a big shell of sphere type and a few amount of tubes

that are functioning inside this. These types usually run from one side to the other as well as go in U-shaped way. The most beneficial and not complex design of this type of heat exchangers is with tubes glued to the shell. Furthermore, it is easy to clean these tubes by using special procedures. It is built the way that is able to work at high level of thermal conditions, especially the temperature expansion that occurs in the thermal change. The tubes have to be strong, resistant to any kind of corrosion and must withstand the fluid medium. The working principle is based on the 2 nd thermodynamics law, stating that the heat moves from one part to the other according to the thermal difference. As a fact, heat flows from a hot part to the colder one. The cooling source, whether water, steam, ethanol is transferred through the tubes inside the shell configuration of a device. However, the medium to be cooled will circulate through these channels inside the shell structure.

The main benefits are that the capacity can be enlarged if we process the plates in pairs and it is not so difficult to maintain them. Moreover, in comparison with the previous type of exchanger, it can be easily cleaned, without extra reassembling. But the cost is also expensive, due to the plates that are made from Titanium. Moreover, because of this, other materials are tend to corrosion process. Finally, if there is something to fix at inner part of the exchanger, it is much difficult to accomplish due to the construction [4].

Results and discussion

In the scheme, there is a process of heat exchange system, described by the elements and special process. Thus, in a standard heating process there are main elements, like reactor, shell and a special tube heating system. The liquid in the reactor`s outside part is placed in the special tank. This storage tank submits the liquid to the shell and tube heat exchanger by pumps and valves. By using the steam, that heats the fluid to the satisfactory set point level with the help of a boiler. Finally, this heated steam gets in from the boiler and equally flows among the tubes. And by heating this liquid with the steam, we get a satisfactory level of point. By this way hot steam flows through the tubes and the fluid passes the shell and tube system. Moreover, there is a controller, acting in a reverse way and the valve, so we have a feedback control loop system.

The main sensing tool that is used to apply in this feedback process is a thermocouple. Consequently, the output temperature of the fluid is measured by the following thermocouple and is forwarded to the transmitter. This results in the signal of 4–20 mA. Further, the out range is then transmitted to the controller. This unit applies the algorithm of the control that makes comparison of the output range with the set point, after that created special conditions for the final control unit.

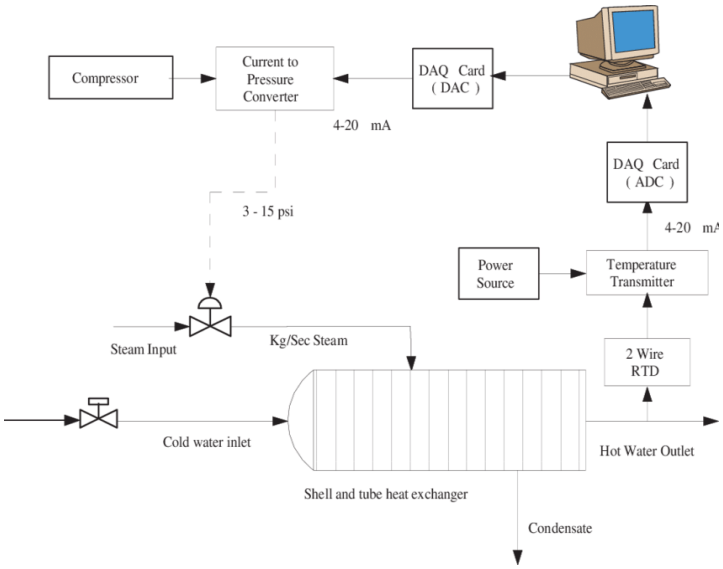


Figure 2 – Schematic diagram of heat exchange process

The actuator is represented as a converter of current to pressure. It means that it obtains the output of 4–20 mA and changes it to the pressure signal in the standardized form, giving a result value of 3–15 psig. The valve depends on the controller conditions and works by its consequences.

The experimental data like response gains and time constants used in calculating the heat transfer process is summarized below. Linearized mathematical models of heat exchanger will be developed according to this data [5–7].

Table 1 – The values of the technical process

Reaction of the heat exchanger to the gain of steam flow	50 C/(kg/sec)
T_C (time constant)	30 sec
Reaction of the heat exchanger to the process change of gain of fluid flow	1 C/(kg/sec)
The capacity of the valve control	1.6 kg/sec
T_C (valve control)	3 sec
Temperature sensor`s range	20 C to 150 C
T_C (temperature sensor)	10 sec

The mathematical description of the thermal process in heat exchangers should be presented in the form of an analytical expression characterizing the change in temperature in the coolant flow over time. The simplest model of heat

exchangers that one where heat is transferred through the wall between the primary and secondary coolants. In real heat exchangers, the heat exchange zones have a constant volume, the flow rates of heat carriers at the inlet and outlet from the zone are the same, and the heat capacity practically does not change within the operating temperature range.

In order to design a control strategy, it is necessary to correctly determine the mathematical model of the process, that is, to predict the behavior of a real object. Most control systems are nonlinear. As a solution to these problems, models of the first (FOPTD) and second (SOPTD) orders plus time delay are used. The general form of the FOPTD model can be expressed as follows:

$$G(s) = \frac{K_p e^{-\tau_D s}}{\tau s + 1}$$

The general form of the SOPTD model can be expressed as follows:

$$G(s) = \frac{K_p e^{-\tau_D s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

In the above formulas K_p is the process gain, τ is the time delay, τ is the time constant of the first order system plus the time delay, and τ_1 and τ_2 are the time constant of the second order system plus the time delay. The parameters used are derived from the frequency response or open-loop hopping data, and the transient response data is used to measure time delays. When developing a model of the transfer function of a heat exchange system, the experimental data mentioned in table 1.

Table 2 – Transfer functions and gains of control process

Transfer function model of Temperature Sensor	$\frac{0.16}{10s + 1}$
Transfer function model of Disturbance	$\frac{1}{30s + 1}$
Transfer function model of Valve	$\frac{0.13}{3s + 1}$
Transfer function model of heat exchanger system	$\frac{50e^{-s}}{30s + 1}$
The process transfer function	$\frac{5e^{-s}}{90s^2 + 33s + 1}$

Transfer function modeling of Heat Exchanger process:

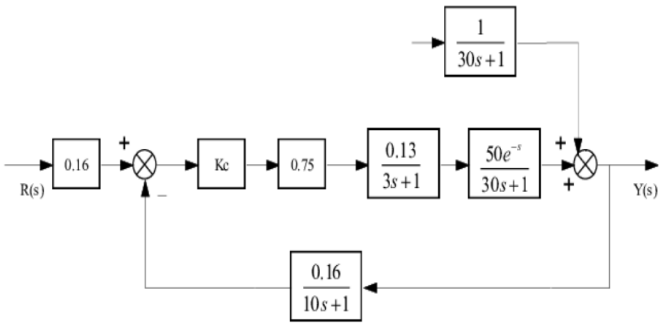


Figure 3 – Feedback control of Heat Exchanger system

The closed-loop control cycle calculates the actuator corrections based on the measured deviation of the controlled process from the set point. The constructed block diagram of the closed loop heat exchanger control system. There are different ways to configure a PID controller. Some methods are empirical methods (process response curve), some methods are based on the analysis of the frequency response of the system, and others are based on the minimization of performance. In most cases, the PID controller is adjusted for trial and error, which is equal to SP (set point) – PV (process value/measured value) in direct acting [8]. An ideal PID controller dependency in continuous time can be represented as

$$G_s\,(s) = K_c\,(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s)$$

where K_p is a proportional gain, τ_i and τ_d integral and derivative times respectively.

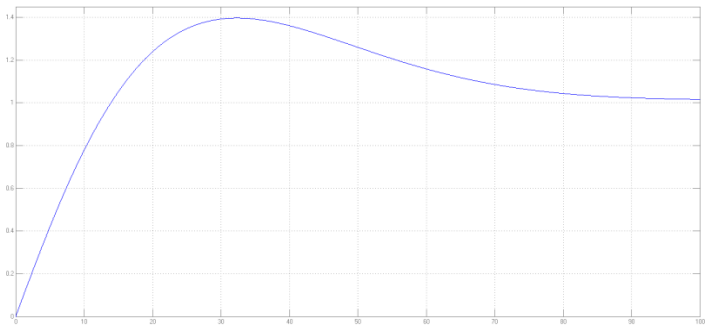


Figure 5 – Step Response of Feedback Control

Feed-forward control

The inherent limitations of a closed loop controller are that the controller acts after a disturbance distorts the desired control objective. If frequent failures occur, the closed-loop control will not be able to reach the desired steady state. Look-forward control is used to limit these kinds of downsides. Feedback control limits the deviation caused by disturbance, but feedback control works under one condition, namely, the disturbance must be measured or estimated. The feed-forward regulator's transfer function works on its own, so it works in conjunction with closed-loop control [9]. The transfer function of ideal feed-forward controller dependance can be represented as follows

$$G_{cf}(s) = -\frac{G_d(s)}{G_p(s)}$$

Here, minus sign deviation of disturbance transfer function $G_d(s)$ to the process transfer function $G_p(s)$ gives the transfer function of feedback-feed-forward controller $G_{cf}(s)$

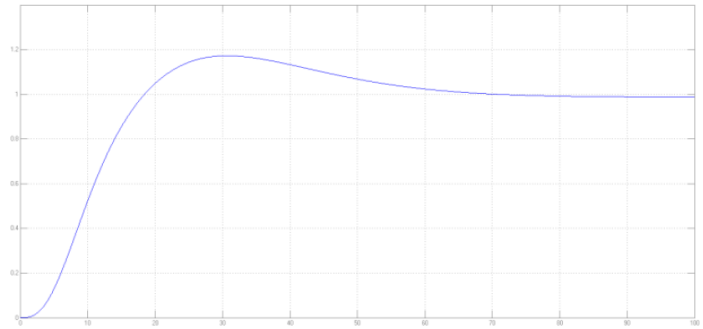


Figure 6 – Step Response of Feedback plus Feed-Forward Control

Simulation Results in MATLAB

On this step, it was considered two main parameters of different types of control loops. The first one is peak overshoot and second one is setting time.

Maximum overshoot: It shows the maximum deviation between the output and desired value.

Settling time: This parameter shows the time required to reach and stay a specified tolerance band of its final value.

Table 3 – Results for transient of controller

Control System	Maximum Overshoot (%)	Setting Time (sec)
Feedback PID Controller	39.7	115.6
Feedback plus feed-forward	18.3	88.2

Conclusion

Researches have shown that existing methods of salt extraction have their drawbacks. Based on the analysis, an assessment of efficiency was carried out, requirements for modern equipment were determined, and the main tasks of modernizing the technological process were described. New directions and technologies in production automation were also studied, which can be applied to salt extraction systems. The most effective strategies for the modernization of the system are determined, taking into account the specifics of local production. The project was implemented by installing a food heat exchanger, which ensures the efficient operation of the salt crystallization process. The introduction of a monitoring and control system for production units made it possible to automatically identify and correct problems in the technological process. The development of new equipment control algorithms has optimized productivity and increased product quality control.

References

1 **Ломакин М. С.** Автоматическое управление технологическими процессами карьеров. – М. : Недра, 1978. – 280 с.

2 **Сахаров Е. М.,** и др. Комплексная цифровизация, реализуемая при освоении запасов Гремячинского месторождения калийно-магниевых солей // Горная промышленность. – 2022. – № 5. – С. 69–73.

3 Теплообменные аппараты : виды, устройство, принцип работы [Electronic resource]. – https://proteplo.org/blog/teploobmennikiobzor (Accessed November 25, 2018).

4 **Stewart, M., Oran, T. Lewis.** Heat Exchanger Equipment Field Manual // Common Operating Problems and Practical Solutions, 1st ed. – Reading, MA : Gulf Professional Publishing, 2012. [E-book] Available: Elsevier.

5 **Padhee, S. and Singh, Y.** «A comparative analysis of various control strategies implemented on heat exchanger system : A case study» // In World Congress on Engineering (WCE). Vol. 2. – London, UK, 2010.

6 **Padhee, S., Khare,Y. B. and Singh, Y.** «Internal model based pid control of shell and tube heat exchanger system» // In IEEE Students' Technology Symposium (TechSym). IEEE, 2011. – P. 297–302.

7 **Gopal, M.** Control systems. – Tata McGraw-Hill Education, 2012.

8 **Ким, Д. П.** Теория автоматического управления, 1st ed. – Reading, MA : Физматлит, 2003. [E-book] Available: Studmed.

9 **Venkatesh, M. G. Mannar.** Analysis and computer simulation of a heat exchanger control system / PhD dissertation, Dept. Chem. Eng., Northwestern Univ., 1993.

10 **Bogomolov, A., Nikiforov, A.** Optimization of heat supply and water supply systems for remote rural regions // Scientific journal «Bulletin of Toraighyrov University», Energetic series. – № 2. – 2021. – P. 67–75.

References

1 **Lomakin, M. S.** Avtomaticheskoe upravlenie tehnicheskimi processami karerov [Automatic control of technological processes of quarries]. – Moscow : Nedra, 1978. – 280 p.

2 **Sakharov, E. M.** Kompleksnay cifrovizaziy, realizuemay pri osvoenii zapasov Gremechenskogo mestorogdeniy kaliyno-magnievyh soley [Complex digitalization implemented during the development of reserves of the Gremyachinsky deposit of potassium-magnesium salts] // Mining Industry. – 2022. – № 5. – P. 69–73.

3 Teploobmennye apparaty : vidy, ustroystvo, princip raboty [Heat exchangers: types, device, principle of operation] [Electronic resource]. – https://proteplo.org/blog/teploobmennikiobzor (November 25, 2018).

4 **Stewart, M., Oran, T.** «Heat Exchanger Equipment Field Manual'» // Common Operating Problems and Practical Solutions, 1st ed. – Reading, MA : Gulf Professional Publishing, 2012. [E-book] Available: Elsevier.

5 **Padhee, S. and Singh, Y.** «A comparative analysis of various control strategies implemented on heat exchanger system : A case study» // In World Congress on Engineering (WCE). Vol. 2. – London, UK, 2010.

6 **Padhee, S., Khare,Y. B. and Singh, Y.** «Internal model based pid control of shell and tube heat exchanger system» // In IEEE Students' Technology Symposium (TechSym). IEEE, 2011. – P. 297–302.

7 **Gopal, M.** Control systems. – Tata McGraw-Hill Education, 2012.

8 **Kim, D.** Theory of automatic control, 1st ed. – Reading, MA : Fizmatlit, 2003. [E-book] Available: Studmed.

9 **Venkatesh, M. G. Mannar.** «Analysis and computer simulation of a heat exchanger control system» / PhD dissertation, Dept. Chem. Eng., Northwestern Univ., 1993.

10 **Bogomolov, A., Nikiforov, A.** Optimization of heat supply and water supply systems for remote rural regions // Scientific journal «Bulletin of Toraighyrov University», Energetic series. – № 2. – 2021. – P. 67–75.

Material received on 20.06.23.

**У. Жалмагамбетова[1], М. Турсын[2]*
[1,2]Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ТҰЗДЫ АЛУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ЖАҢҒЫРТУ

Бұл мақалада қолданыстағы технологиялар мен инновациялық әзірлемелерді интеграциялау қағидаттарына негізделген тұз өндірудің технологиялық процесіне арналған жаңа автоматтандырылған жүйені әзірлеу ұсынылған. Бұл жүйені тестілеу нәтижелері ұсынылады, оның тиімділігіне, экономикалық пайдасына талдау жасалады және оны пайдалану бойынша ұсыныстар беріледі.

Мақалада тұз өндірудің қолданыстағы технологиялары мен өндірісте қолданылатын автоматтандырылған басқару жүйелері қарастырылады, олардың кемшіліктері мен проблемалары талданады, өнімнің сапасына, энергия тиімділігіне, үнемділікке және тұз өндірудің технологиялық процестерінің қауіпсіздігіне қатысты мәселелер көтеріледі. Модель ретінде тұздың кристалдануының технологиялық процесі қарастырылады. Бұл модель жылу алмастырғыштан шыққан кезде ыстық тұз ерітіндісінің салқындату температурасын екі сатылы реттеуді қамтиды. Бұл әсерді көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: технологиялық процесс, автоматтандырылған жүйелер, тұз алу, жетілдіру, басқару, өнім сапасы.

**У. Жалмагамбетова[1], М. Турсын[2]*
[1,2]Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ СОЛИ

В статье представлена разработка новой автоматизированной системы для технологического процесса добычи соли, основанной на принципах интеграции существующих технологий и инновационных разработок. Представлены результаты тестирования данной

системы, проведен анализ эффективности, экономических выгод и даны рекомендации по использованию.

В статье рассматриваются существующие технологии извлечения соли и автоматизированные системы управления, используемые на производстве, анализируются недостатки и проблемы, поднимаются вопросы, связанные с качеством продукции, энергоэффективностью, экономичностью и безопасностью технологических процессов извлечения соли. В качестве модели рассмотрен технологический процесс кристаллизации соли. Моделирование подразумевает двухступенчатую регулировку температуры охлаждения горячего раствора соли на выходе из теплообменника. Исследование характеристик поведено в программной среде MATLAB, с использованием библиотеки Simulink.

Ключевые слова: технологический процесс, автоматизированные системы, извлечение соли, совершенствование, управление, качество продукции.

SRSTI 44.31.35

https://doi.org/10.48081/DUCI2845

M. G. Zhumagulov[1], A. A. Baubek[2], A. M. Gribkov[3], S. A. Glazyrin[4], M. V. Dolgov[5]

[1,2,4,5]L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan,Astana,
3 Kazan State Power Engineering University, Russian Federation, Kazan,
*e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

USE OF OIL-WATER EMULSION IN SWIRL BURNERS

Efficient combustion of unconventional fuels has come to the forefront of research in recent years by scientists in many countries due to the accelerating depletion of fossil fuels. With the development of computer technology, more and more attention is being paid to modelling using a wide range of specialised software at the expense of more accurate experimental studies due to expensive laboratory equipment and consumables. In this paper a brief review of experimental studies related to preparation and combustion of water-oil emulsion (WOE) with explanation of the process of micro explosion of fuel droplets and dependence of combustion efficiency on the percentage of water in the fuel is presented. An experiment on combustion of WOE using a patented innovative burner for a wide range of liquid and gaseous fuels was conducted. Based on a previously published article describing a wave disperser made by the authors, a mixture of fuel oil with water concentrations of 5 %, 10 %, 15 % and 20 % in WOE and once pure fuel oil was prepared and burned. The results of the analysis of the harmful emissions data show a decrease as the moisture content of the fuel increases. The most optimal moisture content as measured by the heat release rate of the water-oil emulsion is at 20 %.

Keywords: water-oil emulsion, dispersant, microburst, vortex combustion chamber, harmful emissions.

Introduction

The reduction of environmental pollution, especially NOx, is one of the most important areas of global research in the development of new combustion devices for conventional and alternative fuels. The global depletion of fossil fuels, and the tightening of environmental regulations, has led to a deepening of

the understanding and improvement of approaches to combustion system design, taking into account the possibility of combustion of alternative fuels. One of such fuels is water-oil emulsion (WOE), providing ecological combustion with low level of harmful emissions. Combustion process of WOE is not fully studied and is based mainly on experimental data of laboratory studies.

Problems of energy resources saving and improvement of ecological condition of a heat and power facility depend in many respects on organization of qualitative fuel combustion (in a particular case, oil). However, taking into account the fact that all available technologies of fuel preparation and combustion itself are brought practically to perfection, and efficiency and ecological purity of boiler units in many cases leave much to be desired, the problem of searching constructively new methods in this area is acute. In this case, the application of a fundamentally new type of fuel – WOE is relevant in solving the set problems. Water-oil emulsion is a fundamentally new type of fuel, consisting of two liquids insoluble in each other: a globule of water and the surrounding film of fuel oil. According to experimental observations of many authors, when such drop hits the high-temperature zone of the furnace, water in the composition of WOE drops boils, turns into steam and, expanding explosively, breaks the surrounding film of fuel oil – the so-called «micro explosion» occurs. As a result of this process, the fuel oil droplet is crushed into many small droplets of «pure» fuel oil, flying in different directions [1].

Use of special dispersants is a more advanced approach to the process of obtaining WOE, implementing a continuous mode of their preparation and combustion in boilers and furnaces. The advantages of systems with a continuous mode of preparation and combustion of WOE are obvious. Most of the modern WOE preparation schemes use dispersing devices and are flow systems, in which WOE after preparation is fed for combustion [2]. Steam generation leads to expansion and deformation of the surrounding oil droplet and ultimately to its fragmentation. Microbursting is defined as a process during which a complete rupture of the oil droplet occurs, whereas if only part of the fuel oil droplet ruptures, the process looks like a bloat [3].

Despite the potential benefit of emulsified fuels, the detailed physical mechanisms that occur during microbursting and inflation are not clear. In an experiment [4], the homogeneous explosive boiling of a steam bubble inside a superheated water droplet was studied and the size of the steam bubble during its growth was measured. In a similar experiment [5], it was observed that during the explosive boiling the liquid particles bounced away from the liquid-gas interface, along with the bubble oscillations. So far, most of the experiments with emulsion droplets have focused on the combustion characteristics after secondary atomization induced by puffing/microburst [6]; thus, the overall dynamics of a single droplet cannot be revealed. The single droplet experiments investigated relatively large

droplets (∅ (1 mm)) compared to those used in engines. In [7] it was found that the volume fraction of water and the amount of surfactants (surfactants) can influence the tendency to microburst. The size distribution of dispersed water subdroplets also has a significant effect on microbursting [8]. Experiments have recently been carried out in [9,10] with single droplets whose sizes were similar to droplet sizes in diesel engines (∅ (10 μm)). In the experiment [10] the effect of water content on microburst characteristics was investigated using a high-speed video camera. Rationale for the necessity of burning fuel oil as WOE is presented in detail in the author's works [11, 12]. In this regard, in [13] a fundamentally new device for preparation of watered-down fuel oil for combustion is proposed for implementation in boiler-houses. The device contains a housing made of several cylindrical rectilinear sections connected by bends, connectors for water and fuel oil supply, cavitation bodies located inside the cylindrical housing. It differs from its analogues in that the cavitation bodies are made of plates with a curved surface in the form of a straight helicoid. In comparison with the known devices for the preparation of WOE the proposed unit allows to prepare liquid fuel better due to the original design of cavitation bodies.

Comparative characteristics of black oil and WOE in relation to boiler units are presented in table 1 according to [14].

Table 1 – Main thermo-technical characteristics of WOE

Type fuel	Humidity, %	Heat of combustion, MJ/kg	Density, kg/m^3	Curing temperature, °C	Flashing point, °C	Parameters in front of nozzle	
						Temperature, °C	Viscosity, degree WU
Fuel oil M100	2	40,43	945	25	150	100	4
WOE-5	5	38,42	948	25	160	103	4
WOE-10	10	36,29	950	25	175	90	6
WOE-15	15	34,13	952	25	190	95	6
WOE-20	20	33,85	954	25	205	98	6

As shown in [15] the combustion process of WOE is accompanied by droplet fragmentation due to the emission of water vapour from the droplet. In addition to microparticulation there is a sharp increase in velocities of the fragmented droplets relative to the air stream. The emulsion droplet burns faster than an oil droplet of the same size which is evident from the experimental data (Table 2) [15].

Table 2 – Comparative data on combustion of drops of fuel oil and WOE

Fuel	Drop diameter, mm	Total combustion time of the droplet, s	Soot burning time, s
Fuel oil	1,1	3,30	1,4
WOE	1,1	2,48	1,1

A significant amount of experimental work is directly related to the combustion of WOE, the research was mainly carried out using single droplet weighting and free-fall droplet weighting methods [16,17].

According to experimental studies [18] compared to temperature, water has a greater influence on the viscosity of fuel oil. Low water content of 5% has a negative impact on combustion, meanwhile too high water content of 30% too increases the fuel density and viscosity, which in turn affects fuel atomisation characteristics and makes the combustion process unstable.

Materials and methods

M100 fuel oil was taken as the starting fuel for the experiment. The combustion stage is preceded by homogenisation of the water-fuel mixture using a dispersant. In the preparation of water-fuel emulsions, the qualitative choice of devices for the preparation of WFE is of great importance. The process was carried out using wave treatment dispersant [19]. The experiment was conducted in four cases with combustion of WOE with 5 %, 10 %, 15 %, 20 % concentrations of water and once with pure fuel oil. NO, NO_2, and SO_2 content in flue gases was measured with a DAG-500 gas analyser in order to analyse the effect of different water concentrations on emission rates of harmful substances. Thermoelectric transducer of TVR type (tungsten – rhenium) with measuring range up to 2200 °C was used to determine the temperature in the swirl burner device.

Results and discussion

The results on combustion of WOE 5 %, 10%, 15 %, 20 % concentrations of water and pure fuel oil showed patterns of changes in flame quality, its stability and significant differences in the amount of harmful emissions. Plots of dependences of harmful emissions and temperature on the quantitative content of water in fuel oil are shown in Figures 1–3. Values for NO and NO_2 are given in NOx.

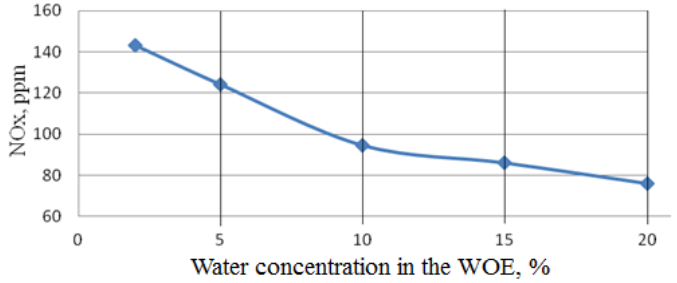


Figure 1 – NOx content as a function of water concentration in WOE

With increasing water concentration in WOE there is a significant reduction of nitrogen oxides in the flue gas composition from 145 ppm to 77 ppm. Under these conditions NO_2 increased to $\frac{NO_2}{NO} = 0{,}31$, compared to $\frac{NO_2}{NO} = 0{,}15$ pure oil combustion.

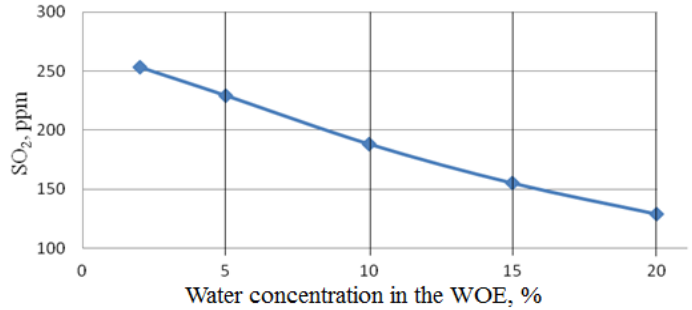


Figure 2 – SO_2 content as a function of water concentration in the WOE

Figure 2 clearly shows the reduction of sulphur oxide SO_2 content in the combustion products. Taking into account the sulphur content S_p = 2,4 %, the sulphur dioxide content in fuel oil combustion was 252 ppm, and when burning WOE with 20 % H_2O the figure was 129 ppm.

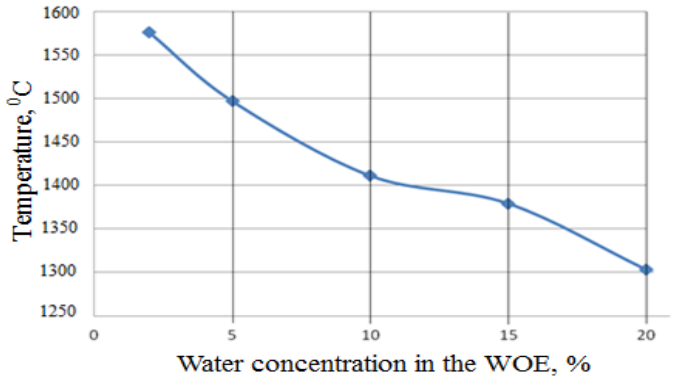


Figure 3 – Combustion chamber temperature as a function of water concentration in the WOE

Reduction of the maximum temperature limit in the combustion chamber of the innovative burner is observed when the H_2O content in WOE is increased in stages as shown in Figure 3.

As a result of formation of so-called «microbursts» during WOE combustion, as well as uniform distribution throughout the flame volume due to uniform distribution of oxidant and fuel, a decrease in temperature level is observed together with a decrease in emission of harmful substances in flue gases.

By creating an effective vortex in the innovative combustion chamber, the dwell time of fuel and oxidant in the combustion zone is increased. As a result of transition of a part of anhydride into sulphuric acid aerosols H_2SO_4 which can be collected by means of electrofilters, concentration of sulphuric anhydride SO_2 decreases with increase of H_2O in emulsion. A significant reduction in the temperature level and uniform distribution of oxidiser and fuel in the combustion chamber leads to a reduction in NOx values.

Conclusion

The effective combustion of WOE with high moisture content, reaching values of 20 %, is made possible by recreating a forced vortex motion of the fuel-air medium. A positive criterion is achieved by an increased degree of mixing and high angular flow velocities (Figure 4).

Figure 4 – Combustion process of WOE with 20 % water content

A prototype of the burner showed the prospects of introducing cyclone-vortex technology in boiler technology, which is confirmed by an increase in their heat output, economic efficiency and a significant reduction of harmful emissions [19].

Experiments have shown that combustion of fuel oil in the form of water-oil emulsion in an innovative swirl burner reduces the emission of harmful substances into the atmosphere. Compared to conventional oil, HFO with 20 % water content reduces SO_2 and NOx by 29 % and 58 %, respectively. Further increasing the water content in WOE leads to failure of flame stability and reduces the efficiency of the burner. When oil-water emulsion is combusted in the innovative swirl burner, the concentration of incomplete combustion products is reduced due to improved formation of the fuel-air mixture.

Information about financing

This research is funded by the Grant «The best university teacher of 2021 in the Republic of Kazakhstan» (Zhumagulov M. G.).

References

1 **Глухов, Б. Ф.** О процессе горения высокоподогретого мазута // Теплоэнергетика. – 1995. – № 9. – С. 32–36.

2 **Корягин, В. А.** Сжигание водотопливных эмульсий и снижение вредных выбросов. – Санкт-Петербург : Недра, 1995. – 304 с.

3 **Shinjo, J., et al.** Physics of puffing and microexplosion of emulsion fuel droplets // Physics of Fluids. – 26. – 103302. – 2014. – https://doi.org/10.1063/1.4897918

4 **Shepherd, J. E., Sturtevant, B.** Rapid evaporation at the superheat limit // J Fluid Mech. – 121. – 2006. – P. 379–402.

5. **Frost, D.** Dynamics of explosive boiling of a droplet // Physics of Fluids. – 31. – P. 2554–2561. – 1988. – https://doi.org/10.1063/1.866608.

6 **Ochoterena, R., et al.** Optical studies of spray development and combustion of waterin-diesel emulsion and microemulsion fuels //Fuel. – Volume 89. – Issue 1. – 2010. – P. 122–132. – ISSN 0016-2361. – https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.06.039.

7 **Califano, V., Calabria, R., Massoli, P.** Experimental evaluation of the effect of emulsion stability on micro-explosion phenomena for water-in-oil emulsions // Fuel. – Vol. 117. – Part A. – 2014. – P. 87–94. – ISSN 0016-2361. – https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.073.

8 **Mura, E., et al.** Study of the micro-explosion temperature of water in oil emulsion droplets during the Leidenfrost effect // Experimental Thermal and Fluid Science. – Vol. 43. – 2012. – P. 63–70. – ISSN 0894-1777. – https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.03.027.

9 **Fuchihata, M., Ida, T., Mizutani, Y.** Observation of micro explosions in spray flames of light oil water emulsions. 2nd Report, Influence of Temporal and Spatial Resolution in High Speed Videography // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series B. 69. – P. 1503–1508.

10 **Watanabe, H., Okazaki, K.** Visualization of secondary atomization in emulsified-fuel spray flow by shadow imaging // Proceedings of the Combustion Institute. – Vol. 34. – Issue 1. – 2013. – P. 1651–1658. – ISSN 1540-7489. – https://doi.org/10.1016/j.proci.2012.07.005.

11 **Катин, В. Д., Вольхин, И. В.** Подготовка и сжигание водомазутных эмульсий и охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте. – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 166 с.

12 **Свирин, Г. А., Катин, В. Д.** Обоснование сжигания мазута в виде водомазутных эмульсий в паровых и водогрейных котлах и анализ схем их приготовления // Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Научно-техническое сотрудничество стран АТР в XXI веке». – Хабаровск : ДВГУПС, 2014. – С. 262–267.

13 **Катин, В. Д., Вольхин, И. В.** Патент РФ №112984, МПК F23K 5/12. 27.01.2012. Устройство для подготовки к сжиганию обводненного мазута.

14 **Воликов, А. Н.** Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности. – СПб. : Недра, 1998. – 160 с.

15 **Иванов, В. М.** Топливные эмульсии. – М. : Недра, 1982. – 216 с.

16 **Barrera, R. O., Villasenor, R., Marin, A. D.** An experimental study of the effect of water content on combustion of heavy fuel oil/water emulsion droplets // Combustion and Flame. – Vol. 126. – Issue 4. – 2001. – P. 1845–1855. – https://doi.org/10.1016/S0010-2180(01)00295-4.

17 **Dryer, F., Rambach, G., Glassman, I.** Some preliminary observations on the combustion of heavy fuels and water-in-fuel emulsions // Aerospace and Mechanical Sciences Report 1271. – Princeton University, 1976.

18 **Pei, X., Guida, P., AlAhmadi, K. M., Al Ghamdi, I. A., Saxena, S., Roberts, W. L.** Cenosphere formation of heavy fuel oil/water emulsion combustion in a swirling flame // Fuel Processing Technology. – Vol. 216. – 2021. – 106800. – https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106800.

19 **Dolgov, M. V., Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Gribkov, A. M., Glazyrin, S. A.** Possibility of water-oil emulsion combustion. P. 1 // Vestnik ToU. Energeticheskaya seriya. – 2022. – № 1.

References

1 **Gluhov, B. F.** O processe goreniya vysokopodogretogo mazuta [On the combustion process of highly heated fuel oil] // Thermal energy. – № 9. – 1995. – P. 32–36.

2 **Korygin, V. A.** Szhiganie vodotoplivnyh emulsii I snizhenie vrednyh vybrosov [Combustion of water-fuel emulsions and reduction of harmful emissions]. – St-Petersburg : Nedra, 1995. – 304 p.

3 **Shinjo, J., et al.** Physics of puffing and microexplosion of emulsion fuel droplets // Physics of Fluids 26. – 103302. –2014. – https://doi.org/10.1063/1.4897918.

4 **Shepherd, J. E., Sturtevant, B.** Rapid evaporation at the superheat limit // J Fluid Mech. – 121. – 2006. – P. 379–402.

5 **Frost, D.** Dynamics of explosive boiling of a droplet // Physics of Fluids. – 31. – P. 2554–2561. –1988. – https://doi.org/10.1063/1.866608.

6 **Ochoterena, R., et al.** Optical studies of spray development and combustion of water in-diesel emulsion and microemulsion fuels // Fuel. – Vol. 89. – Issue 1. – 2010. – P. 122–132. – ISSN 0016-2361. – https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.06.039.

7 **Califano, V., Calabria, R., Massoli, P.** Experimental evaluation of the effect of emulsion stability on micro-explosion phenomena for water-in-oil emulsions // Fuel. – Vol. 117. – Part A. – 2014. – P. 87–94. – ISSN 0016-2361. – https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.073

8 **Mura, E., et al.** Study of the micro-explosion temperature of water in oil emulsion droplets during the Leidenfrost effect // Experimental Thermal and Fluid Science. – Vol. 43. – 2012. – P. 63–70. – ISSN 0894-1777. – https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.03.027.

9 **Fuchihata, M., Ida, T., Mizutani, Y.** Observation of micro explosions in spray flames of light oil water emulsions. 2nd Report, Influence of Temporal and

Spatial Resolution in High Speed Videography // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series B. – 69. – P. 1503–1508.

10 **Watanabe, H., Okazaki, K.** Visualization of secondary atomization in emulsified-fuel spray flow by shadow imaging // Proceedings of the Combustion Institute. – Vol. 34. – Issue 1. – 2013. – P. 1651–1658. – ISSN 1540-7489. – https://doi.org/10.1016/j.proci.2012.07.005.

11 **Katin, V. D., Volhin, I. V.** Podgotovka i szhiganie vodomazutnyh emulsii i ohrana okruzhayushei sredy na zheleznodorozhnom transporte [Preparation and combustion of water-fuel emulsions and environmental protection in rail transport]. – Vladivostok : Dalnauka, 2010. – 166 p.

12 **Svirin, G. A., Katin, V. D.** Obosnovanie szhiganiya mazuta v vide vodomazutnyh emulsii v parovyh i vodogreinyh kotlah i analiz shem ih prigotovleniya [Justification of fuel oil combustion in the form of water-oil emulsions in steam and hot-water boilers and analysis of schemes for their preparation] // Trudy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferencii c mezhdunarodnym uchastiem «Nauchno-technicheskoe sotrudnichestvo stran ATP v XXI veke». – Habarovk : DVGUPS, 2014. – P. 262–267.

13 **Katin, V. D., Volhin, I. V.** Patent RF №112984, MPK F23K 5/12. 27.01.2012. Ustroistvo dlya podgotovki k szhiganiyu obvodnennogo mazuta [Device for the preparation of watered-down fuel oil for combustion].

14 **Volikov, A. N.** Szhiganie gazovogo i zhidkogo topliva v kotlah maloi moshnosti [Combustion of gas and liquid fuels in small boilers]. – St-Petersburg : Nedra, 1998. – 160 p.

15 **Ivanov, V. M.** Toplivnye emulsii [Fuel emulsions]. – Moscow : Nedra, 1982. – 216 p.

16 **Barrera, R. O., Villasenor, R., Marin, A. D.** An experimental study of the effect of water content on combustion of heavy fuel oil/water emulsion droplets // Combustion and Flame. – Vol. 126. – Issue 4. – 2001. – P. 1845–1855. – https://doi.org/10.1016/S0010-2180(01)00295-4.

17 **Dryer, F., Rambach, G., Glassman, I.** Some preliminary observations on the combustion of heavy fuels and water-in-fuel emulsions // Aerospace and Mechanical Sciences Report 1271. – Princeton University, 1976.

18 **Pei, X., Guida, P., AlAhmadi, K. M., Al Ghamdi, I. A., Saxena, S., Roberts, W. L.** Cenosphere formation of heavy fuel oil/water emulsion combustion in a swirling flame // Fuel Processing Technology. – Vol. 216. – 2021. – 106800. – https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106800.

19 **Dolgov, M. V., Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Gribkov, A. M., Glazyrin, S. A.** Possibility of water-oil emulsion combustion. Chast 1 // Vestnik ToU. Energeticheskaya seriya. – 2022. – № 1.

Material received on 20.06.23.

**М. Г. Жумагулов[1], А. А. Баубек[2], А. М. Грибков[3],*
С. А. Глазырин[4], М. В. Долгов[5]
[1,2,4,5]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва,
Республика Казахстан, г. Астана;
[3]Казанский государственный энергетический университет,
Российская Федерация, г. Казань.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОМАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ВИХРЕВЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Эффективное сжигание нетрадиционных видов топлива в последние годы вышло на одно из первых мест в исследованиях учёных многих стран в связи с ускоренно истощающимися запасами ископаемого топлива. С развитием компьютерной техники всё больше внимания уделяют моделированию с использованием широкого спектра специализированного программного обеспечения в убыток более точным экспериментальным исследованием в связи с дорогостоящим лабораторным оборудованием и расходными материалами. В данной статье кратко приводится обзор экспериментальных исследований связанный с подготовкой и сжиганием водомазутной эмульсии (ВМЭ) с пояснением процесса микровзрыва капель топлива и зависимостью эффективности сжигания от процентного содержания воды в топливе. Проведён эксперимент по сжиганию ВМЭ с использованием запатентованного инновационного горелочного устройства для широкого спектра жидких и газообразных видов топлива. На основе ранее опубликованной статьи с описанием изготовленного авторами волнового диспергатора была подготовлена и сожжена смесь мазута с концентрациями воды 5 %, 10 %, 15 % и 20 % в ВМЭ и один раз чистый мазут. Результаты анализа данных по вредным выбросам демонстрируют снижение по мере повышения содержания влаги в топливе. Наиболее оптимальное содержание влаги по показателю тепловыделения в водомазутной эмульсии на уровне 20 %.

Ключевые слова: водомазутная эмульсия, диспергатор, микровзрыв, вихревая камера сгорания, вредные выбросы.

**М. Г. Жумагулов[1], А. А. Баубек[2], А. М. Грибков[3],*
С. А. Глазырин[4], М. В. Долгов[5].
[1,2,4,5]Л. Н. Гумилёв атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.;
[3]Казань ұлттық энергетикалық университеті,
Ресей Федерациясы, Казань қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

МҰНАЙ-СУ ЭМУЛЬСИЯСЫН ВОРТЕКС ОТТЫҚ ҚҰРЫЛҒЫНДА ПАЙДАЛАНУ

Дәстүрлі емес отынды тиімді жағу соңғы жылдары қазба отын қорының тез таусылуына байланысты көптеген елдер ғалымдарының зерттеулерінде алғашқы орындардың біріне шықты. Компьютерлік технологияның дамуымен қымбат зертханалық жабдықтар мен шығын материалдарының арқасында дәлірек эксперименттік зерттеулер есебінен кең ауқымды арнайы бағдарламалық қамтамасыз етуді қолдану арқылы модельдеуге көбірек көңіл бөлінуде. Бұл мақалада отын тамшыларының микрожарылу процесін және жану тиімділігінің отындағы судың пайызына тәуелділігін түсіндіре отырып, су-мұнай эмульсиясын (СМЭ) дайындау және жағумен байланысты эксперименталды зерттеулерге қысқаша шолу жасалады. Сұйық және газ тәріздес отындардың кең спектрі үшін патенттелген инновациялық оттықты пайдаланып СМЭ жағу эксперименті жүргізілді. Авторлар шығарған толқынды дисперстерді сипаттайтын бұрын жарияланған мақалаға сүйене отырып, СМЭ-де су концентрациясы 5 %, 10 %, 15 % және 20 % болатын мазут қоспасы және бір рет таза мазут дайындалып, жағылды. Зиянды шығарындылар туралы мәліметтерді талдау нәтижелері отын құрамындағы ылғалдылық жоғарылаған сайын төмендегенін көрсетеді. Су-мұнай эмульсиясында жылуды бөлу бойынша ең оңтайлы ылғалдылық 20 % деңгейінде.

Кілтті сөздер: су-мұнай эмульсиясы, дисперсия, микрожарылыс, құйынды жану камерасы, зиянды шығарындылар.

МРНТИ 44.29.31

https://doi.org/10.48081/CHGV7314

Д. Д. Исабеков[1], В. Я. Бобров[2], В. П. Марковский[3]
[1,3]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;
[2]АО «Казэнергокабель», Республика Казахстан, г. Павлодар
*e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В статье авторами представлена попытка решения одной из проблем современной электрической энергетики, которая заключается в построении токовых защит электрических установок, не использующих измерительные трансформаторы тока с металлическими сердечниками. Показано, что для построения таких защит можно использовать магнитоуправляемый элемент, такой как катушка индуктивности, установив ее вблизи токоведущих шин ячеек комплектных распределительных устройств (КРУ) или закрытых распределительных устройств (ЗРУ), к которым подключены электрический двигатель или линия электропередач из-за того, что ей свойственны преимущества, заключающиеся в том, что данная катушка может одновременно выполнять функции измерительного конвертора и органа защиты. Предложены новые схемы реализации токовых защит электродвигателей и линий электропередач на катушках индуктивности, подключенных к ячейкам КРУ и ЗРУ, обладающие при этом эффектом ресурсосбережения материалов. Рассмотрены их свойства и принцип действия, что подтверждает возможность построения токовых защит для различных электрических установок, подключенных к ячейкам КРУ и ЗРУ при установке катушек индуктивности внутри них.

Ключевые слова: катушка индуктивности, максимальная токовая защита, отсечка, электроустановка, ресурсосбережение.

Введение

Токовые защиты, такие как максимальная токовая защита (МТЗ) и отсечка в силу своей простоты и высокой надежности нашли свое широкое применение на промышленных предприятиях для защиты электродвигателей и линий электропередач, а также других электроустановок напряжением

6–35 кВ от коротких замыканий. Традиционно они получают информацию о токе в фазе защищаемой электроустановки, как и большинство других защит [1; 2] от трансформаторов тока (ТТ) с металлическими сердечниками. Эти трансформаторы тока имеют ряд общеизвестных недостатков [3; 4], из-за которых на всемирных советах по глобальным электросистемам (СИГРЭ) неоднократно отмечалось, например [5], что одной из актуальных задач электроэнергетики является разработка релейной защиты без вышеназванных ТТ. Работы по устранению указанных недостатков, созданию новых преобразователей тока, обладающих эффектом ресурсосбережения, без измерительных трансформаторов тока с металлическими сердечниками, берущие свое начало с середины прошлого столетия [6,7,8,9,10,11,12,13] продолжаются и по сей день [14,15,16,17,18]. Для построения токовых защит без традиционных трансформаторов тока были выбраны катушки индуктивности [19]. В данной работе представлен принцип действия токовых защит на катушках индуктивности для линий электропередач и электродвигателей, выполненных в виде устройства, с рассмотрением варианта их установки на минимально допустимой дистанции, при этом отпадает необходимость в соблюдении мер минимального расстояния, а случайность их пробоя минимальна, при этом величина их срабатывания намного эффективнее осуществима (достигается это изменением расстояния от катушки индуктивности до токоведущей шины ячеек КРУ и ЗРУ).

Методы и результаты исследования

Тщательная проработка патентных баз и научных статей по данному вопросу в результате исследования, позволила предложить новое устройство токовых защит, обладающее эффектом ресурсосбережения материалов для линий электропередач и электродвигателей, которые также могут быть применимы и для других различных электрических установок, напряжением 6–35 кВ. Ресурсосбережение данных защит заключается в том, что для этих целей не используются дорогостоящие по цене и громоздкие по весогабаритным параметрам трансформаторы тока и токовые реле с металлическими сердечниками.

Результаты и обсуждение

Отсечка и максимальная токовая защита электрических установок. Максимальная токовая защита и отсечка электрических установок, представленные в виде устройства в своем составе имеют катушку индуктивности 1 с двумя парными выводами, подключенную к первому (У1)2 и второму (У2)3 усилителям напряжения, усиливающие значение напряжения, снимаемого с выводов катушки индуктивности 1 до необходимого. Первый усилитель напряжения 2 подключен к обмотке 4 реле времени 5, источник постоянного тока 6, с полюса «+» которого потенциал

поступает на контакт с выдержкой времени на замыкание 7 реле времени 5, к которому подключен первый вывод обмотки 8 первого промежуточного реле 9. Потенциал полюса «+» источника постоянного тока 6 поступает к контакту на замыкание 10 первого промежуточного реле 9, который в свою очередь подключен к первому выводу первого указательного реле (РУ)11, а с него к первому выводу обмотки катушки отключения (КО)12 выключателя электрической установки. Второй усилитель напряжения 3 подключен к обмотке 13 второго промежуточного реле 14, источник постоянного тока 6, с полюса «+» которого потенциал поступает к контакту на замыкание 15 второго промежуточного реле 14, который в свою очередь подключен к первому выводу второго указательного реле 16, а с него к первому выводу обмотки катушки отключения (КО)12 выключателя электроустановки. Второй вывод обмотки 8 первого промежуточного реле 9 и катушки отключения (КО)12 подключены к полюсу «-» источника постоянного тока 6 (рис.1).

Принцип действия данных защит базируется на воздействии магнитного потока Ф (показано стрелками), созданного током шины защищаемой электрической установки на катушку индуктивности 1 (рис.1). Представленный комплект защиты может устанавливаться внутри ячеек любых серий комплектного и закрытого распределительных устройств и в закрытых токопроводах для любой фазы в отдельности и там, где имеется наибольший магнитный поток.

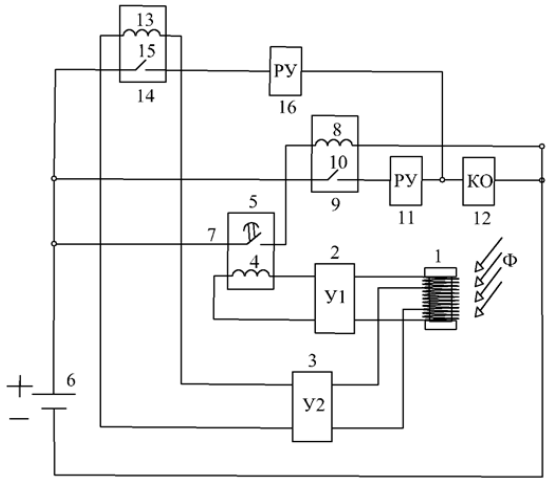


Рисунок 1 – Структурная схема максимальной токовой защиты и отсечки электрических установок

При возникновении короткого замыкания на подключенной электрической установке, ток в её шине внутри ячейки КРУ или ЗРУ возрастает, и катушка индуктивности 1, установленная на безопасной по Правилам устройства электроустановок дистанции от данной шины (0,12м) воспринимает изменения значения магнитного поля, и в ней индуктируется увеличенное значение электродвижущей силы (ЭДС) [20] (рис.1).

Когда реализуется функция МТЗ используется первый парный, а при выполнении функции отсечки – второй парный вывод катушки индуктивности 1. В силу того, что значение напряжения на выводах катушки индуктивности 1 при выполнении функции МТЗ имеет наибольшее значение, равное 5В, то оно повышается посредством первого усилителя напряжения (У)2 до U=220 В и подается на выводы обмотки 3 реле времени 4. В результате у данного реле срабатывает контакт с выдержкой времени (равный 0,02с.) на замыкание 6 и посылает потенциал «+» с источника постоянного тока 5 на первый вывод обмотки 7 первого промежуточного реле 9. Реле 9 сработав подаёт потенциал «+» через свой контакт на замыкание 10 на первый вывод катушки отключения (КО)12 выключателя электрической установки. В результате чего она отключается от электрической сети. Срабатывание МТЗ фиксируется первым указательным реле (РУ)11.

Выполняя функции отсечки, значение напряжения на выводах катушки индуктивности 1 имеет значение порядка 3В и оно повышается с помощью второго усилителя напряжения (У)3 до U=220 В и подается на первый вывод обмотки 13 второго промежуточного реле 14. В результате реле 14 сработав, подаёт посредством своего контакта на замыкание 15 потенциал «+» на первый вывод катушки отключения (КО)12 выключателя электрической установки. В результате подключенная электрическая установка отключается также от общей электрической сети. Срабатывание отсечки фиксируется вторым указательным реле (РУ)16 (рис.1).

В нормальном режиме работы подключенной электрической установки, параметры в двух усилителях напряжения отрегулированы так, чтобы они срабатывали лишь при появлении на их выводах напряжения 3 и 5 В, а при значении напряжения меньше этих, МТЗ и отсечка на отключение электрической установки не срабатывают.

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №. AP14972954).

Выводы

Рассматривая представленные токовые защиты электрических установок надо сказать, что МТЗ и отсечка выполняют данные защиты с применением катушки индуктивности, которая при этом выполняет

функции нового комбинированного токового реле (как индукционные реле РТ-80, 90, но значительно меньше их по весогабаритным параметрам и намного дешевле по цене), реализующего максимальную токовую защиту и отсечку. Представленные токовые защиты полностью отвечают вопросам релейной защиты, таким как кибербезопасность - полная неподверженность кибератакам, из-за отсутствия интернет соединения; не используют в своем составе измерительные трансформаторы тока и напряжения с металлическими сердечниками, состоящих из дорогостоящих металлов, таких как сталь, медь и высоковольтной изоляции, которым свойственны также немалые весогабаритные параметры и это несомненно отвечает насущному вопросу релейной защиты – ресурсосбережению материалов. Данные защиты представляют из себя совершенно новый подход в реализации токовых защит для различных электрических установок с любым классом номинального напряжения, выполняемых с применением катушек индуктивностей.

Список использованных источников

1 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.

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

3 **Казанский, В. Е.** Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. – М. : Энергия, 1969. – 184 с.

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

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

6 **Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т.** Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского // Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем: сб. докл. междунар. науч.-технич. конф. – М. : Научно-инженерное информационное агентство, 2009. – С. 39–48.

7 **Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т.** Опыт эксплуатации дифференциальной защиты силовых трансформаторов с использованием катушки Роговского // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем : сб. докл. междунар. науч.-технич. конф. – М. : Научно-инженерное информационное агенство, 2009. – С. 49–59.

8 **Котенко, Г. И.** Магниторезисторы. – Л. : Энергия, 1972. – 80 с.

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

10 **Овчаренко, Н. И., Дорогунцев, В. Г., Басс, Э. И., Будкин, В. В.** Применение гальваномагнитных элементов в релейной защите и автоматике. – М. ; Л. : Энергия, 1966. – 120 с.

11 **Егиазарян, Г. А., Стафеев, В. И.** Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение. – М. : Радио и связь, 1987. – 88 с.

12 **Карабанов, С. М., Майзельс, Р. М., Шоффа, В. Н.** Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе. – Долгопрудный : Издательский Дом Интеллект, 2011. – 408 с.

13 **Диковский, Я. М., Капралов, И. И.** Магнитоуправляемые контакты. – М. : Энергия, 1970. – 152 с.

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

15 **Исабеков, Д. Д., Клецель, М. Я., Кислов, А. П., Шолохова, И. И.** Устройство для токовой защиты электроустановки / Патент № 2704792 Российской Федерации, опубл. 31.10.19, бюл. №31.

16 **Исабеков, Д. Д., Клецель, М. Я., Талипов, О. М., Шолохова, И. И.** Устройство для крепления герконов в ячейках комплектных распределительных устройств / Патент № 2670720 Российской Федерации, опубл. 29.11.2018, бюл. №34.

17 **Исабеков, Д. Д., Клецель, М. Я., Никитин, К. И., Машрапов, Б. Е.** Устройство для токовой защиты электроустановок /Патент №2678189 Российской Федерации, опубл. 24.01.2019, бюл. №3.

18 **Issabekov, D. D., Kletsel, M. Ya., Zhantlesova, A. B., Mayshev, P. N. Mashrapov B. E.** New filters for symetrical current components // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – № 101. – P. 85–91.

19 **Басс, Э. И.** Катушки реле защиты автоматики. – М. : Энергия, 1974. – 80 с.

20 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан : утв. 20 марта 2015 года, №230 [Электронный ресурс]. – adilet.zan.kz.

References

1 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashhita i avtomatika sistem e`lektrosnabzheniya: uchebnik dlya vuzov [Relay protection and automation of power supply systems]. Izd. 4-e, perer. i dop. [Text]. – Moscow : Vy`sshaya shkola, 2006. – 639 p.

2 **Shneerson, E`. M.** Cifrovaya relejnaya zashhita [Digital relay protection] [Text]. – Moscow : E`nergoatomizdat, 2007. – 549 p.

3 **Kazanskij, V. E.** Transformatory` toka v sxemax relejnoj zashhity` [Current transformers in relay protection circuits] [Text]. – Moscow : E`nergiya, 1969. – 184 p.

4 **Kazanskij, V. E.** Izmeritel`ny`e preobrazovateli toka v relejnoj zashhite [Current transducers in relay protection] [Text]. – Moscow : E`nergoatomizdat, 1988. – 240 p.

5 **D`yakov, A. F.** E`lektroe`nergetika mira v nachale XXI stoletiya (po materialam 39-j sessii SIGRE`, Parizh) [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]] // E`nergetika za rubezhom. – 2004. – № 4. –P. 7–16.

6 **Kozhovich, L. A., Bishop, M. T.** Sovremennaya relejnaya zashhita s datchikami toka na baze katushki Rogovskogo [Modern relay protection with current sensors based on the Rogowski coil] // Sovremenny`e napravleniya razvitiya relejnoj zashhity` i avtomatiki e`nergosistem : sb. dokl. mezhdunar. nauch.-texnich. konf. [Text]. – Moscow : Nauchno-inzhenernoe informacionnoe agentstvo, 2009. – P. 39–48.

7 **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.

8 **Kotenko, G. I.** Magnitorezistory` [Magnetoresistors] [Text]. – Leningrad : E`nergiya, 1972. – 80 p.

9 **Kobus, A., Tushinskij, Ya.** Datchiki Xolla i magnitorezistory` / per. s pol`sk. V. I. Tixonova, K. B. Makedonskij; pod red. O. K. Xomeriki [Hall sensors and magnetoresistors] [Text]. – Moscow : E`nergiya, 1971. – 352 p.

10 **Ovcharenko, N. I., Doroguntsev, V. G., Bass, E. I., Budkin, V. V.** Nullam application a galvanomagnetic elementa in praesidio et Automation [Application of galvanomagnetic elements in relay protection and automation]. – Moscow; L. : Energy, 1966. – 120 p.

11 **Egiazaryan, G. A., Stafeev, V. I.** Magnitodiody`, magnitotranzistory` i ix primenenie [Magnetodiodes, magnetotransistors and their applications] [Text]. – Moscow : Radio i svyaz`, 1987. –88 p.

12 **Karabanov. S. M., Majzel`s. R. M., Shoffa. V. N.** Magnitoupravlyaemy`e kontakty` (gerkony`) i izdeliya na ix osnove [Magnetically actuated contacts (reed contacts) and products based on them] [Text]. – Dolgoprudny`j : Izdatel`skij Dom Intellekt, 2011. – 408 p.

13 **Dikovskij, Ya. M., Kapralov, I. I.** Magnitoupravlyaemy`e kontakty`[Magnetic contacts] [Text]. – Moscow : E`nergiya, 1970. – 152 p.

14 **Isabekov, D. D.** Ustanovka dlya issledovaniya e`lektromagnitnogo polya vnutri komplektnogo raspredelitel`nogo ustrojstva [Installation for studying the electromagnetic field inside the complete switchgear] / Patent № 34420 Respubliki Kazaxstan, opubl. 26.06.2020.

15 **Isabekov, D. D., Klecel`, M. Ya., Kislov, A. P., Sholoxova, I. I.** Ustrojstvo dlya tokovoj zashhity` e`lektroustanovki [Device for current protection of an electrical installation] / Patent № 2704792 Rossijskoj Federacii, opubl. 31.10.19.

16 **Isabekov, D. D., Klecel`, M. Ya., Talipov, O. M., Sholoxova, I. I.** Ustrojstvo dlya krepleniya gerkonov v yachejkax komplektny`x raspredelitel`ny`x ustrojstv [Device for fixing reed switches in the cells of complete switchgear] / Patent № 2670720 Rossijskoj Federacii, opubl. 29.11.2018.

17 **Isabekov, D. D., Klecel`, M. Ya., Nikitin, K. I., Mashrapov, B. E.** Ustrojstvo dlya tokovoj zashhity` e`lektroustanovok [Device for current protection of electrical installations] / Patent №2678189 Rossijskoj Federacii, opubl. 24.01.2019, byul. №3.

18 **Issabekov, D. D., Kletsel, M. Ya., Zhantlesova, A. B., Mayshev, P. N., Mashrapov, B. E.** «New filters for symetrical current components» // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – №101. – P. 85–91.

19 **Bass, E`. I.** Katushki rele zashhity` avtomatiki [Automation protection relay coils] [Text]. – Moscow : E`nergiya, 1974. – 80 p.

20 Prikaz Ministra jenergetiki Respubliki Kazahstan. Pravila ustrojstva jelektroustanovok Respubliki Kazahstan: utv. 20 marta 2015 goda, №230 [Electronic resource]. – adilet.zan.kz.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**Д. Д. Исабеков[1], В. Я. Бобров[2], В. П. Марковский[3]*
[1,3]Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;
[2]«Казэнергокабель» АҚ, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЭЛЕКТРҚОНДЫРҒЫЛАРДЫН РЕСУРСҮНЕМДЕЙТІН ТОК ҚОРҒАНЫСТАРЫ

Мақалада авторлар қазіргі заманғы электр энергетикасы мәселелерінің бірін шешу әрекетін ұсынады, ол металл өзектері бар өлшеуіш ток трансформаторларын пайдаланбайтын электр қондырғыларының ток қорғанысын құру болып табылады. Мұндай қорғаныстарды құрастыру үшін оны комплектік тарату құрылғысының (КТҚ) немесе жабық тарату құрылғысының (ЖТҚ) ұяшықтарының ток өткізетін шиналары жанына орнату арқылы индукциялық катушкалар сияқты магнитті басқарылатын элементті қолдануға болатыны көрсетілген. Электрқозғалтқышы немесе электржелісі қосылғандықтан, оның артықшылықтары бар, бұл катушкалар бір уақытта өлшеу түрлендіргіші мен қорғаныс құрылғысының функцияларын орындай алады. Комплектік таратушы және жабық тарату құрылғыларының ұяшықтарына қосылған индуктивті катушкалардағы электрқозғалтқыштары мен электржелілерін токтан қорғауды жүзеге асырудың жаңа схемалары ресурсты үнемдейтін материалдар әсерін тигізеді. Олардың қасиеттері мен жұмыс істеу принципі қарастырылады, бұл олардың ішіне индуктивті катушкаларды орнату кезінде комплектік таратушы және жабық тарату құрылғыларының ұяшықтарына қосылған әртүрлі электрқондырғылары үшін ток қорғанысын құру мүмкіндігін растайды.

Кілтті сөздер: индуктивті катушкалар, максималды ток қорғанысы, кесіп алу, электрқондырғысы, ресурстардыүнемдеу

**D. D. Issabekov[1], V. Ya. Bobrov[2], V. P. Markovskiy[3]*
[1,3]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;
[2]«Kazenergocable» JSC, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 20.06.23.

RESOURCE-SAVING CURRENT PROTECTIONS FOR ELECTRICAL INSTALLATIONS

In the article the authors present an attempt to solve one of the problems of modern electrical engineering, which is to build current protections of electrical installations, which do not use current transformers with metal cores. It is shown that to build such protections it is possible to use a magnetically controlled element such as an inductance coil, setting it near the current-carrying bars of cells of complete switchgear (CxS) or closed switchgear (CS), which is connected to an electric motor or power line because of the inherent advantages that this coil can simultaneously serve as a measuring converter and protection body. Proposed new schemes for the implementation of current protections of electric motors and power lines on the inductance coils connected to the cells of the switchgear CxS and CS, with the effect of resource-saving materials. Their properties and principle of operation are considered, which confirms the possibility of building current protections for various electrical installations connected to switchgear and switchgear cells with the installation of inductance coils inside them.

Keywords: Inductance coil, maximum current protection, cutoff, electrical installation, resource saving.

МРНТИ 44.39

https://doi.org/10.48081/BEXD7601

***С. С. Исенов[1], С. К. Шерьязов[2]**

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана;

[2]ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Российская Федерация, г. Челябинск

*e-mail : isenov_sultan@mail.ru

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

В научной статье проведен анализ состояния и развития электроэнергетики и существующих систем электроснабжения на базе возобновляемых источников. Приведены показатели по установленной мощности и потребляемой электроэнергии от различных видов возобновляемой энергии. Основным фактором необходимости развития возобновляемой энергетики является наблюдаемая тенденция постоянного роста затрат на электроснабжение из-за износа электросетевого оборудования и постоянный рост цен на традиционные энергоносители, а также необходимость обеспечения энергетической безопасности.

Большие затраты потребуются для автономного электроснабжения сельских товаропроизводителей, если учесть сезонный характер производства и соответственно потребления электроэнергии. Для решения проблемы энергоснабжения удаленных сельских потребителей с использованием возобновляемых источников требуются научные исследования с обоснованием и разработкой систем электроснабжения.

Таким образом, развитие возобновляемой энергетики наблюдается повсюду и во многих странах мира действует Программа их развития. При этом важное значение имеет Государственная политика на поддержание механизмов по развитию ВИЭ. Среди ВИЭ, большое развитие получила ветроэнергетика. Для использования энергии ветра в системе электроснабжения необходимо изучить ее особенности.

Ключевые слова. возобновляемые источники энергии, электроснабжение, ветроэнергетика, микрогенерация, энергосбережение.

Введение

Развитие электроэнергетики связано с состоянием отдельно представляющих элементов ее структуры: генерации, питающей и распределительной электрической сети. При этом одной из основных проблем является наличие устаревшего электрооборудования, срок эксплуатации которых составляет более тридцати лет.

При передаче имеет место сверхнормативные потери электроэнергии. В этих условиях, наличие различных систем электроснабжения предполагает поиск оптимального решения.

В число оптимальных решений можно отнести распределенную генерацию, на базе традиционных и возобновляемых источников, для снижения потери электрической энергии. Возобновляемые источники также могут снизить затраты на потребляемую электроэнергию за счет замещения дорогостоящего органического топлива.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Республике Казахстан является одной из самыз обсуждаемых тем на протяжении нескольких десятилетий. Это обусловлено рядом причин, которые повышают интерес со стороны государственных органов, потенциальных инвесторов и конечных потребителей. Основным фактором необходимости развития ВИЭ в электроэнергетике является наблюдаемая тенденция постоянного роста затрат на электроснабжение из-за износа электросетевого оборудования и постоянного роста цен на традиционные энергоносители, а также необходимость обеспечения энергетической безопасности [1–3].

Развитие ВИЭ наблюдается повсюду и во многих странах существуют специальные программы. При этом важное значение имеет Государственная политика по поддержке развития ВИЭ.

Материалы и методы

Анализ состояния и развития систем электроснабжения на базе возобновляемой энергии. Единая энергосистема (ЕЭС) Республики Казахстан в силу географического расположения делится на три зоны: Северную, Южную и Западную. ЕЭС Казахстана сбалансирована по электроэнергии при недостатке пиковой мощности и отсутствии резервов мощности в зимний период [4].

В первую очередь необходимо развивать генерацию, которая является одним из слабых звеньев в энергетике страны, старение объектов генерации

крайне значительно. Другим проблемным звеном энергетики являются электрические сети 0,4–110 кВ РЭК, их износ очень большой и практически они недостаточно развиваются. В этих условиях использование ВИЭ на оптовом рынке и в розницу может снизить потери электрической энергии и замещать органические виды топлива.

На сегодняшний день использование ВИЭ в мировой практике – это действительность со своими преимуществами, перспективами и проблемами. В сфере применения ВИЭ для нужд человечества произошли серьезные изменения, позволяющие демонстрировать значительные успехи. На рисунке 1 показана динамика ввода новых мощностей (МВт) на базе ВИЭ за 2010–2018 годы [5].

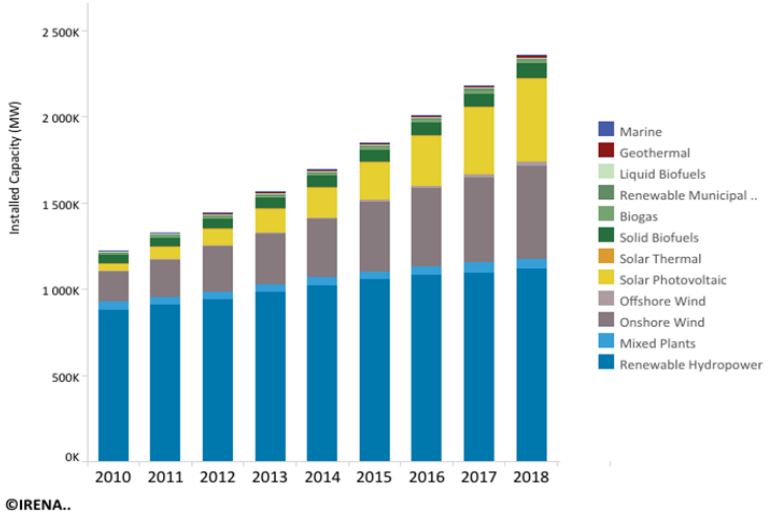


Рисунок 1 – Ввод в мире новых мощностей (МВт) на базе ВИЭ

На рисунке 2 представлена мировая выработка электрической энергии различными видами ВИЭ с 2000 по 2018 годы [5].

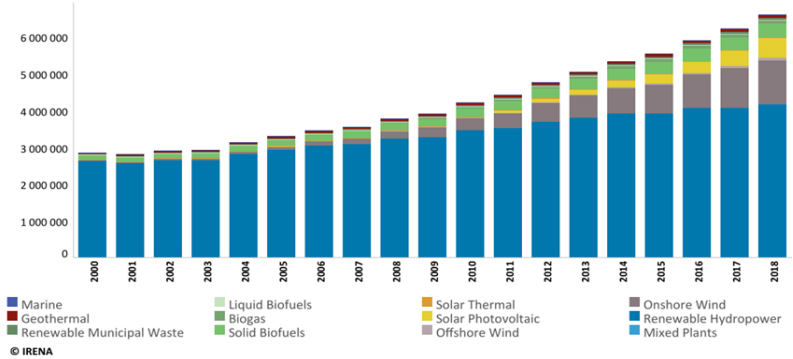


Рисунок 2 – Мировая выработка энергии (ГВт*ч) различными видами ВИЭ

Здесь отчетливо виден стабильный рост практически всех видов ВИЭ, среди которых большую часть занимает гидроэнергетика, затем ветроэнергетика и гелиоэнергетика.

Темпы развития определенного вида ВИЭ и масштабность его применения зависит от ряда географических и социальных аспектов. В первую очередь, это связано с наличием потенциала того или иного ресурса, затем степенью его технологичности особенно по экономическим показателям, которые характерны для каждого отдельного случая и региона. На рисунках 3 и 4 приведены данные по динамике вводимых мощностей (МВт) и выработанной энергии (ГВт*ч) за период 2010-19 годы в разрезе регионов [5].

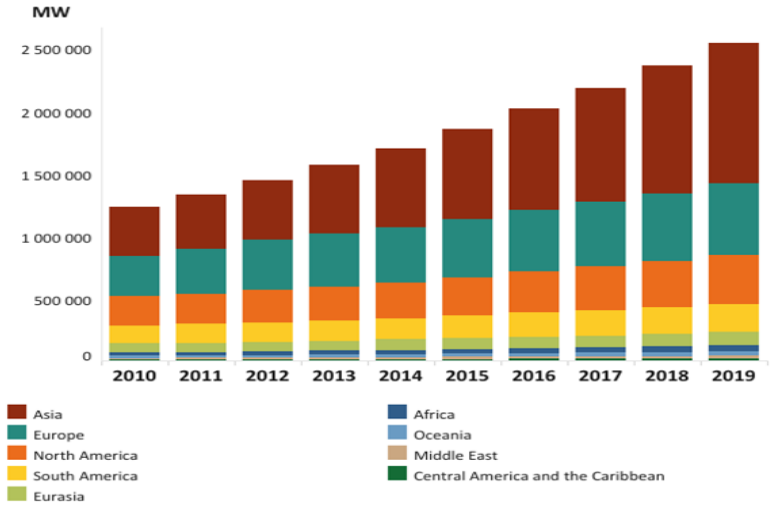


Рисунок 3 – Динамика вводимых мощностей (МВт) за период 2010-2019 годы в разрезе регионов

Анализ приведенных данных показывает, что несмотря на стабильный рост ВИЭ, доля возобновляемых источников в объеме конечного потребления на 2018 год составляет всего 11 %. Следует отметить рост вводимых мощностей и развития системы государственной поддержки и регулирования ВИЭ, которые варьируется в зависимости от политических течений, экономических показателей, появления новых финансовых инструментов.

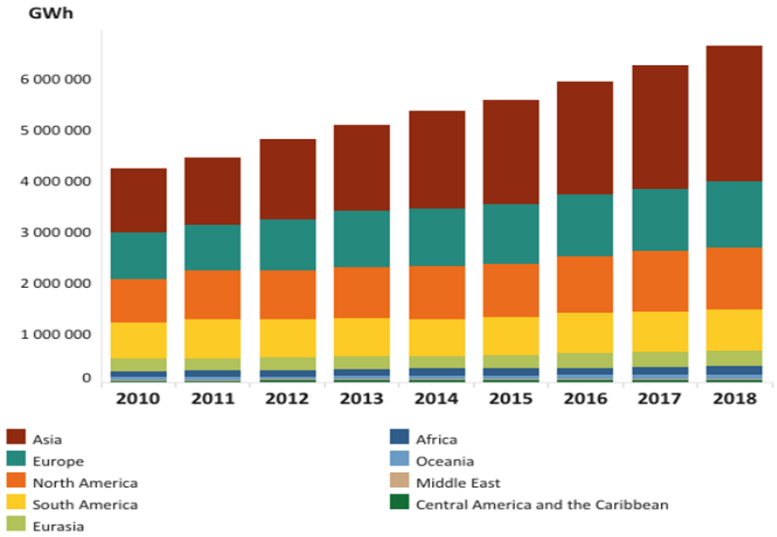


Рисунок 4 – Динамика выработанной энергии (ГВт*ч) за период 2010–2019 годы в разрезе регионов.

Однако, основные сводятся к налоговым стимулам производителей энергии, финансовым стимулам производителям оборудования, грантовым стимулам, разработчикам новых технологий, субсидирование покупаемой/продаваемой энергии и т.п. При этом следует выделить развитие ВИЭ носит региональный характер.

Результаты и обсуждение

Развитию ВИЭ в Республике Казахстан уделяется большое внимание. Это обусловлено рядом причин, которые повышают интерес со стороны государственных органов, потенциальных инвесторов и конечных потребителей. Основным фактором необходимости развития ВИЭ в электроэнергетике является наблюдаемая тенденция постоянного роста затрат на электроснабжения из-за износа электросетевого оборудования и постоянный рост цен на традиционные энергоносители, а также необходимость обеспечения энергетической безопасности.

В связи с этим, в сфере использования возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан 4 июля 2009 году был принят Закон РК «О поддержке использования возобновляемых источников энергии». В целях успешного развития ВИЭ, в июле 2013 года, с учетом лучших мировых

практик и существующего положения в Республике Казахстан, данный Закон был усовершенствован.

Закон предоставляет возможности поддержки, как для инвесторов, так и для рядовых потребителей. Для обеспечения достаточной потребности в электроэнергии в Казахстане к 2050 году предложены ряд мер, а именно [4]:

1) за счет принятых мер по повышению энергоэффективности, сократить потребления электроэнергии. Это позволит снизить спрос на электроэнергию в основных секторах, потребляющих электроэнергию на 10 % к 2030 году и на 15 % к 2050 году;

2) применение ресурсов ВИЭ в энергобаланс. В общем объеме производства электроэнергии в соответствии со Стратегией «Казахстан – 2050» и Концепцией перехода РК к «зеленой» предполагается производство 10 % электроэнергии на ВИЭ и альтернативных источниках энергии к 2030 году, включая ветряные (ВЭС), солнечные (СЭС), гидро- и атомные электростанции.

В настоящее время в Республике Казахстан действуют 21 ветровая (ВЭС) и 37 солнечных электростанций (СЭС), с установленной мощностью более 300 и около 800 МВт соответственно. Суммарная мощность установок на базе ВИЭ составляют чуть более 1,3 ГВт и имеются большие перспективы дальнейшего роста доли ВИЭ в энергобалансе Республики [6, 7, 8].

СЭС и ВЭС вырабатывают около 10% от максимально потребляемой мощности, а годовая выработка электроэнергии 2,5 млрд кВт·ч, что составляет 2,5% от годового потребления Казахстана. Суммарная эффективность ВИЭ в среднем за год составляет порядка 20 % от установленной мощности ВИЭ, при этом в зимний период до 10 %, а в летний до 30% [9].

По данным Министерства энергетики РК объем производства электроэнергии объектами по использованию ВИЭ (СЭС, ВЭС и малые ГЭС) РК в 2021 году составил 4220,3 млн. кВтч, что составляет 3,7%. В сравнении с 2020 годом (3245,1 млн. кВтч) прирост составил 30,1 % [6].

Наибольшая выработка приходится на ВЭУ – 1776 млн.кВтч (42 %), затем от СЭС 1641,1млн. кВтч (39 %) и 799,7 млн. кВтч на малые ГЭС (19 %).

Согласно действующим Законом по поддержке ВИЭ, электроснабжение ориентировано на базе электростанции, требующих квалифицированного обслуживания. При этом СЭС и ВЭС вырабатывают электрическую энергию в энергосистему напряжением 220 кВ.

Вместе с тем развитие ВИЭ на базе СЭС и ВЭС требует наличия резерва в энергосистеме, из-за непостоянства и случайного характера поступающей возобновляемой энергии. Так, например, вечерний максимум нагрузки в целом по Казахстану составляет 1000 МВт, а генерация СЭС при этом падает с 1000 МВт до нуля. В этих условиях требуется резерв мощности порядка

2000 МВт. Реально в ЕЭС Казахстана мобильный резерв составляет 500 МВт (Бухтарминская ГЭС и Мойнакская ГЭС) [10].

В Казахстане, аномальные погодные условия с температурой до -40 градусов, в силу географического положения встречаются часто в холодное время года. В таких условиях возможно нарушение электроснабжения от ВИЭ, и требуется строительство мобильных резервных мощностей на величину равной суммарной мощности ВИЭ, поскольку установка накопителей электроэнергии стоит дорого и неэффективно в зимний период.

Таким образом, развитие ВИЭ в системе централизованного электроснабжения, на оптовом рынке электроэнергетики требует решения задачи, связанных с резервированием. При этом, как уже сказано, серьезная проблема с резервированием существует в энергосистеме Казахстана.

В этих условиях актуальную задачу по использованию ВИЭ можно решить в системе централизованного электроснабжения для маломощных потребителей за счет микрогенерации. Примером может служить опыт электроснабжения от микрогенерации ВИЭ в России.

В России для развития микрогенерации действует Федеральный закон №471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об электроэнергетике” в части развития микрогенерации». Закон призван оказывать стимулирующее воздействие на российский сегмент микрогенерации.

В Казахстане действует Приказ Министра энергетики от8.07.2016 года за № 309 «Правила купли продажи электроэнергии от ВИЭ», редакция которой обновлена Приказом Министра от 29.09.2022 года за № 308. Согласно Приказу, для подключения объекта (объектов) по использованию ВИЭ к электрическим сетям энергопередающей организации, энергоснабжающая организация заключает с потребителем договор купли-продажи электрической энергии в соответствии с гражданским законодательством Республики Казахстан.

В документах устанавливают само понятие объекта микрогенерации, который принадлежит потребителю электрической энергии и присоединен к электросети на уровне напряжения не выше 1000 вольт. При этом генерация электроэнергии может осуществляться, как по традиционной системе, так и с использованием ВИЭ и объем выдачи электроэнергии в сеть не должна превышать максимальную мощность, в точке поставки.

В Казахстане действует закон «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» в редакции от 09.11.2020 № 373-VI и т 01.04.2021 № 26-VII. Согласно закону расчетно-финансовый центр заключает договора купли-продажи электрической энергии с энергопроизводящими организациями, использующими ВИЭ. Поддержка их осуществляется в соответствии с настоящим Законом, и включенными уполномоченными органами в перечень энергопроизводящих организаций, использующих

ВИЭ, и осуществляет покупку электрической энергии в течение пятнадцати лет с даты начала комплексных испытаний, при которых осуществлен отпуск электрической энергии в единую электроэнергетическую систему Республики Казахстан.

Активное действие закона развития микрогенерации в Республике Казахстан позволит развиваться распределенной генерации за счет возобновляемых источников. Данная система позволила бы снизить нагрузку на электрическую сеть и потери электроэнергии.

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

Для повышения эффективности электроснабжения важную роль играет развитие распределенной генерации на базе возобновляемых источников энергии. При этом развитие ВИЭ для электроснабжения объектов позволит решить ряд важных проблем:

- эффективно развивать систему энергосбережения путем повышения энергоэффективности электроснабжения за счет снижения потери электрической энергии, когда ВИЭ замещает потребляемую электроэнергию из сети;
- обеспечить надежность электроснабжения и качество потребляемой электроэнергии за счет комбинированной системы из двух и более энергоустановок на основе ВИЭ и традиционных источников;

Применение технологии ВИЭ в энергетике решает задачи:

- замещения органических видов топлива и снижения выбросов в окружающую среду;
- снижения затрат на потребляемую энергию, в условиях роста цен на топливо;

Из вышеперечисленных преимуществ, только первый показатель является техническим. Он не зависит от страны, где применяются технологии ВИЭ. Другие преимущества определяются рынком энергетического оборудования, стоимостью топлива, тарифами на электроэнергию и т.д.

Таким образом, роль ВИЭ в энергетике растет и во многих странах мира действует Программа их развития. При этом, важное значение имеет Государственная политика на поддержание механизмов по развитию ВИЭ.

Список использованных источников

1 **Sheryazov, S. K., Ptashkina-Girina, O. S.** Methods of effective use of solar power system. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 // IEEE Conference Publications. – С.7910986. – https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2016.7910986.

2 **Sheryazov, S. K., Ptashkina-Girina, O. S., Nizamutdinova, N. S.** Technological and Economic Evaluation of the System of Heat Supply with the Usage of Renewable Sources of Energy // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. Publisher: IEEE - 2019. – https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2018.8602526.

3 **Sheryazov, S. K., Issenov, S. S., Kaidar, A. B.** Classification of wind energy nversion systems // Вестник Торайгыров университета. Энергетикалық сериясы. – № 3. – 2020. – С. 356–364.

4 **Сухоплюев Ю.** Текущее состояние и развитие ЕЭС Казахстана. Энергетика. – Алматы, 2021. – С.6–11.

5 Данные Международного агентства по возобновляемой энергии IRENA [Электронный ресурс]. – URL:https://www.irena.org/Statistics/ View-Data-by-Topic.

6 Министерство энергетики Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – https://www.gov.kz/memleket/entities/energo?lang=ru.

7 Ветроэнергетика Казахстана: вчера, сегодня, завтра [Электронный ресурс]. – https://eenergy.media/archives/10703.

8 Аналитики прогнозируют пик дефицита электроэнергии в Казахстане в 2029 году [Электронный ресурс]. – https://www.kt.kz/rus/ekonomika/_1377946930.html.

9 Анализ рынка электроэнергии январь-декабрь 2021 года. Самрук-Энергия. – Астана, 2022.

10 Казахстанская компания по управлению электрическими сетями [Электронный ресурс]. – www.kegoc.kz.

References

1 **Sheryazov, S. K., Ptashkina-Girina, O. S.** Methods of effective use of solar power system // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. IEEE Conference Publications. – С.7910986. – https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2016.7910986.

2 **Sheryazov, S. K., Ptashkina-Girina, O. S., Nizamutdinova, N. S.** Technological and Economic Evaluation of the System of Heat Supply with the Usage of Renewable Sources of Energy // International Multi-Conference on

Industrial Engineering and Modern Technologies. – Publisher : IEEE, 2019. – https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2018.8602526.

3. Sheryazov S.K., Issenov S.S., KaidarA.B. [Classification of wind energy nversion systems] // Bulletin of Toraighyrov University. Energetikalyk seriyasy. – No. 3. – 2020. – P. 356–364.

4 **Sukhoplyuev, Yu.** The current state and development of the UES of Kazakhstan. Energy. – Almaty, 2021. – P. 6–11.

5 Dannyye Mezhdunarodnogo agentstva po vozobnovlyayemym istochnikam energii IRENA [Data from the International Renewable Energy Agency IRENA] [Electronic resource]. – https://www.irena.org/Statistics/ View-Data-by-Topic.

6 Ministerstvo Energetiki Respubliki Kazakhstan [Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan] [Electronic resource]. – https://www.gov.kz/memleket/entities/energo?lang=ru.

7 Vetroenergetika Kazakhstana : vchera, segodnya, zavtra [Wind energy of Kazakhstan : yesterday, today, tomorrow] [Electronic resource]. – https://eenergy.media/archives/10703.

8 Analitiki prognoziruyut pik defitsita elektroenergii v Kazakhstane v 2029 godu [Analysts predict the peak of electricity shortage in Kazakhstan in 2029] [Electronic resource]. – https://www.kt.kz/rus/ekonomika/_1377946930.html

9 Analiz rynka elektroenergii za yanvar'-dekabr' 2021 g. [Analysis of the electricity market January-December 2021]. Samruk is Energy. – Astana, 2022.

10 Kazakhstanskaya kompaniya po upravleniyu elektricheskimi setyami [Kazakhstan Electric Grid Management Company] [Electronic resource]. – www.kegoc.kz.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**С. С. Исенов[1], С. Қ. Шерьязов[2]*
[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы. Астана қ.;
[2]Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті,
Ресей Федерациясы, Челябинск қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЖАҢАРТЫЛАТЫН КӨЗДЕР БАЗАСЫНДА ЭЛЕКТРМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ МЕН ДАМУЫН ТАЛДАУ

Ғылыми мақалада жаңартылатын көздер негізінде электр энергетикасы мен қолданыстағы электрмен жабдықтау жүйелерінің жай-күйі мен дамуына талдау жасалды. Жаңартылатын энергияның әртүрлі түрлерінен белгіленген қуат пен тұтынылатын электр энергиясы бойынша көрсеткіштер келтірілген. Электр энергетикасында жаңартылатын энергетиканы дамыту қажеттілігінің негізгі факторы электр желілік жабдықтың мұрнына байланысты электрмен жабдықтау шығындарының тұрақты өсуінің байқалатын үрдісі және тра-диялық энергия тасымалдаушыларға бағаның тұрақты өсуі, сондай-ақ энергетикалық қауіпсіздікті қамтамасыз ету қажеттілігі болып табылады.

Егер өндірістің маусымдық ха-рактерін және сәйкесінше электр энергиясын тұтынуды ескеретін болсақ, ауылдық тауар өндірушілерді автономды электрмен жабдықтау үшін үлкен шығындар қажет болады. Жаңартылатын көздерді пайдалана отырып, шалғайдағы ауыл тұтынушыларын энергиямен жабдықтау мәселесін шешу үшін электрмен жабдықтау жүйелерін негіздей және дамыта отырып, ғылыми зерттеулер қажет.

Осылайша, жаңартылатын энергетиканың дамуы бүкіл әлемде және әлемнің көптеген елдерінде олардың даму бағдарламасы бар. Бұл ретте ЖЭК дамыту жөніндегі тетіктерді қолдауға арналған мемлекеттік саясаттың маңызы зор. ЖЭК арасында жел энергетикасы үлкен дамуға ие болды. Электрмен жабдықтау жүйесінде жел энергиясын пайдалану үшін оның ерекшеліктерін зерттеу қажет.

Кілтті сөздер. жаңартылатын энергия көздері, электрмен жабдықтау, жел энергетикасы, микрогенерация, энергияны үнемдеу.

**S. S. Issenov[1], S. K. Sheryazov[2]*
[1]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana;
[2]South Ural State agrarian University,
Russian Federation, Chelyabinsk.

ANALYSIS OF THE STATE AND DEVELOPMENT OF ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS BASED ON RENEWABLE SOURCES

The scientific article analyzes the state and development of electric power and existing power supply systems based on renewable sources. The indicators for installed capacity and electricity consumption from various types of renewable energy are given. The main factor of the need for the development of renewable energy in the electric power industry is

the observed trend of constant growth in electricity supply costs due to the wear of power grid equipment and the constant increase in prices for traditional energy carriers, as well as the need to ensure energy security.

Large costs will be required for autonomous electricity supply to rural producers, taking into account the seasonal nature of production and, accordingly, electricity consumption. To solve the problem of energy supply to remote rural consumers using renewable sources, scientific research is required with the justification and development of power supply systems.

Thus, the development of renewable energy is observed everywhere and in many countries of the world there is a program for their development. At the same time, the State policy on maintaining mechanisms for the development of renewable energy is of great importance. Among renewable energy sources, wind energy has received great development. To use wind energy in the power supply system, it is necessary to study its features.

Keywords: renewable energy sources, electricity supply, wind power, microgeneration, energy conservation.

SRSTI 50.47.29

https://doi.org/10.48081/QYFY4461

N. A. Ispulov[1], M. Zh. Sultanova[2], Zh. Dzh. Ospanova[3], E. M. Jussupova[4]

[1,2,3,4]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

*e-mail: s.m.zh@mail.ru

AIR HEATING CONTROL SYSTEM BASED ON MICROCONTROLLER

This article discusses a technological solution developed on the basis of an Arduino-type microcontroller with automatic control of air heating in production.

Currently, microcontrollers have a large range (more than 10,000), which differ among themselves in terms of application, parameters and other properties. Dozens of manufacturers are engaged in the release of microcontrollers.

Increasing reliability, speed and functional saturation, as well as reducing the amount of modern computer technology and electricity consumed have led to its widespread use to control complex technological objects with a large number of physical quantities and controlled installations.

The result of this article will be the development of a block diagram, drawing up a schematic diagram of a control system, block diagrams, writing a program for a microcontroller, developing an operation algorithm and a set of elements that can be used in any production, production process (for example, drying systems, heating installations, etc.), where an air heating control system is deemed necessary. Also, the main conclusions, concepts of this research work can be used in production processes, household appliances and as a teaching aid.

Keywords: microcontroller, system, controls, air heating, Arduino.

Introduction

Due to the rapid development of microelectronics, the computing power of modern microcontrollers has increased significantly. This has led to lower prices for microcontrollers and the use of the proposed capabilities of microcontrollers in circuits that were previously economically unprofitable.

Microcontrollers are found in all spheres of human life, in all the devices that surround him. Easy connection and extensive work opportunities. With the help of programming microcontrollers, it is possible to solve practical problems of hardware technologies. All production processes that need to be cost-effective and safe require a management system. It is a programmable logic controller that has spread rapidly in recent years and radically change control methods, which, along with its effective price, adds computing power and considerable flexibility [1].

In the research work [1] describes the developed model of a universal thermostat on an ATmega8 microcontroller; the devices used and how to connect them to the microcontroller. The algorithm of the program operation in a special CodeVisionAVR environment has been developed. The article [2] describes the technology of preparing and debugging the Arduino IDE environment and the method of connecting Arduino to LabVIEW. The errors that occur during saving and exporting the project in the message area are shown and corrected; the program of work with the description of the front panel and the schematic diagram of the device. A program for finding coefficients for thermistors has been written. In the article [3] an experimental circuit for determining the gas content in the air and a control program were developed using an Arduino microcontroller.

Materials and methods

A microcontroller is an integrated system consisting of memory, processor and I/O ports. The microcontroller is programmed to perform a specific task. If it is necessary to change or supplement its activities, it is necessary to re-download the program to the chip [4].

The main purpose of the microcontroller is its use in automatic control systems, even in various structures (credit card, mobile phones, music centers, washing machine, alarm system, nuclear reactors, production processes, etc.). It is used from industrial automation to household appliances, from controlling nuclear power plants to children's toys, from secret military systems to replacing the channels of your radio receiver. It is easier to list those areas in which they are not used [5–7].

The widespread use of software-controlled machines and equipment in industry, thermal power engineering, transport medicine, communication industries, electronics and microelectronics creates the need for a microcontroller.

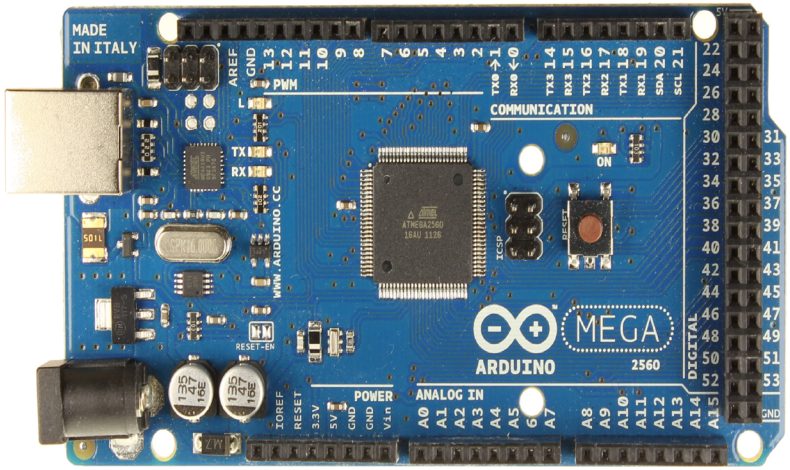


Figure 1 – Arduino Mega 2560 microcontroller

Microcontrollers differ from conventional computers in the following ways:

- all functions are located only in one small and convenient volume;
- programmed to perform a specific task;
- it is powered by energy in a smaller volume, since, depending on the physical parameters, the energy reserve is provided only in a smaller amount;
- it is efficient because it has a unidirectional I/O port and connects to peripheral devices [8–10].

Microcontroller design: core, registers, memory, cache, common I–O, timers, interrupt (stop), watchdog, peripherals, ordering capability.

The Arduino platform is used to simulate the air heating control system based on the Arduino Mega 2560 microcontroller.

Arduino is an electronic constructor and a convenient platform for quick preparation of electronic devices. The platform is known worldwide for the convenience and simplicity of its programming language, as well as its open architecture and code. The device is programmed via USB without the help of a programmer [11].

Arduino is built on the Mega Atmega2560 microcontroller. The board includes 54 digital inputs/outputs (14 of which can be combined as EIM outputs), 16 analog inputs, 4 UART serial ports, a 16 MHz quartz oscillator, a USB connector, a power connector, an ICSP connector and a reset button. To work, you must either connect the platform to a computer via a USB cable, or supply power via an AC/DC adapter or a battery. The Arduino Mega can get power by connecting it to USB, or via an external power supply. The power supply is removed automatically [12–13].

Results and discussions

General characteristics of the air heating control system project

Below is a diagram of an air heating control system assembled on a breadboard that operates via an Arduino Mega 2560 microcontroller.

1 – temperature of the output air flow D2, 2 – LED indicating the operating mode, 3 – field transistor, 4 – LED indicating compensation mode, 5 – input air flow temperature D1, 6 – Arduino Mega platform with Arduino Mega 2560 microcontroller, 7 – ventilator. The specification of the elements is presented in table 1.

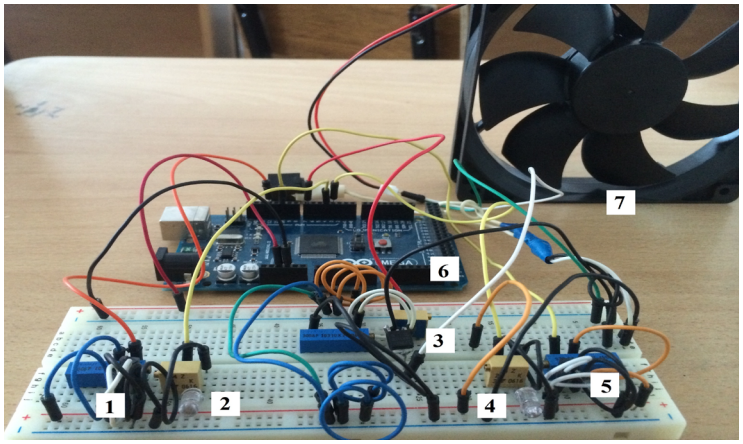


Figure 2 – Project diagram of the air heating control system

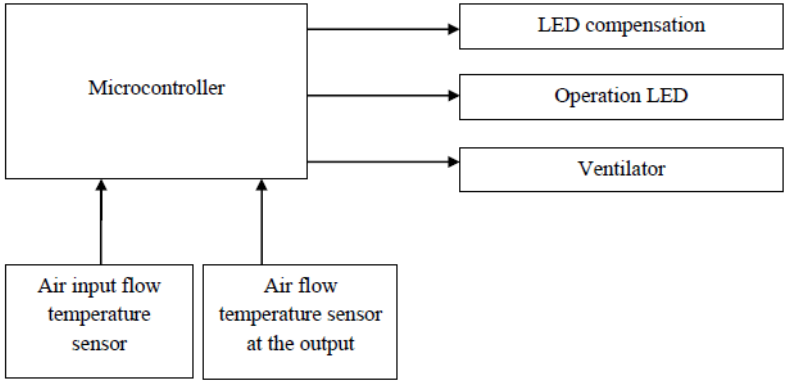


Figure 3 – Structural scheme of the air heating control system

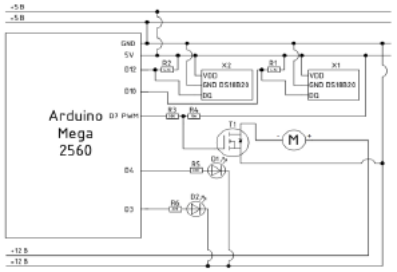


Figure 4 – Assigning scheme of the air heating control system

Table 1 – Specification of elements to a scheme

Designations	**Element**	**Note**
R1, R2	Resistor 4.7 kOhm	
X1	DS18B20 Temperature sensor	Air flow temperature sensor at the output
X1	DS18B20 Temperature sensor	Air flow temperature sensor at the input
R3	Resistor 500 Ohm	
R4	Resistor 10 kOhm	
T1	Field-effect transistor IRLR7843	
M	Ventilator motor	
R5, R6	Resistor 220 Ohm	
D1, D2	Light emitting diode (LED)	

Go to the input process of the Aruduino Mega 2560 microcontroller. The process of the Aruduino Mega 2560 microcontroller is performed in the Arduino programming environment.

- The program (sketch) is recorded on Arduino 1.6.9 (new version of Arduino, freely available on the Internet, free).

- The program (sew up) is introduced into the memory of the board, which ensures the exchange of information between the microcontroller and software by the COM port (Fig. 5).

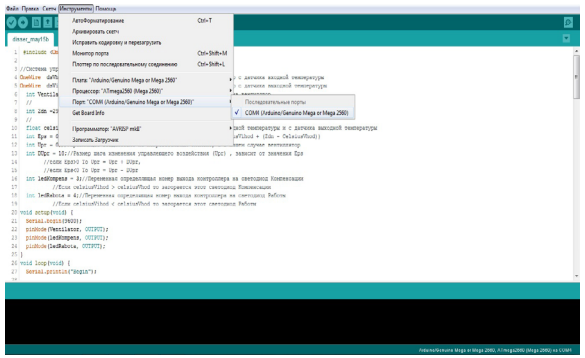


Figure 5 – COM port selection

The introduced sketch is checked and, after completing the compilation, press the download button. The interaction of a personal computer and MK can be seen by flashing LEDs RX and TX. You can try to open the monitor port to track temperature changes, that is, temperature sensors data.

The system works in the cycle (Fig. 6).

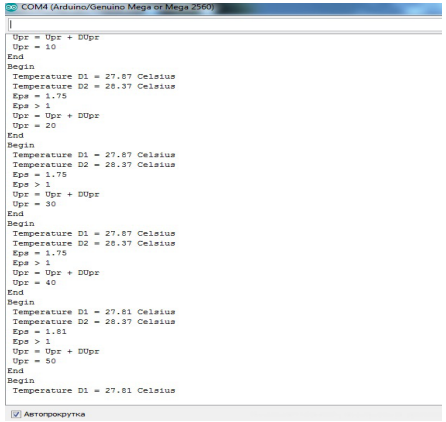


Figure 6 – Temperature change (port of the Arduino 1.6.9 monitor)

The code of the "Air heating control system" written in Arduino 1.6.9

// Air heating control system

OneWire dsVhod(10); // Variable defining the input number from the input temperature sensor to the controller

OneWire dsVihod(12);// Variable defining the input number from the output temperature sensor to the controller

int Ventilator = 7;// A variable determining the exit number of the controller to the ventilator

//

int Zdn =25;// The task of the temperature that should be obtained as a result In this case, the task is 25 degrees Celsius

//

float celsiusVhod, celsiusVihod;// The temperature obtained from the input sensor of the temperature and the output temperature sensor

int Eps = 0;// This is how the mismatch signal is calculated

Eps = (Zdn - CelsiusVihod + (Zdn - CelsiusVhod))

int Upr = 0;// Control action on the heating element, in this case – on the fan

int DUpr = 10;// The step size of the control effect depends on the value Eps

// if Eps>0 then Upr = Upr + DUpr,

// if Eps<0 then Upr = Upr - DUpr

int ledKompens = 3;// A variable that determines the output number to the LED compensation of the controller

//If celsiusVhod > celsiusVihod then the compensation LED will light up

int ledRabota = 4;// Variable that determines the number of output to the working LED of the controller

//Если celsiusVihod >= celsiusVhod then the work LED lights up

2) Example from the window of the monitor port

Conducted action

Begin Begin

Temperature D1 = 23.50 Celsius The input temperature is measured

Temperature D2 = 23.00 Celsius The output temperature is measured

Eps = 1.50 Eps is calculated

Eps>0 The increase mode is displayed

or reduce the effect of control

Upr = 10 The control effect is calculated,

dependent on Eps value

End End

Begin

Temperature D1 = 23.50 Celsius

Temperature D2 = 23.00 Celsius

Eps= 1.50

Eps>0

Upr = 20 Calculating Eps

Upr started to rise

End

Begin
Temperature D1 = 23.50 Celsius
Temperature D2 = 23.00 Celsius
Eps= 1.50
Eps>0
Upr = 30 Calculating Eps
Upr started to rise
End
Begin
Temperature D1 = 23.50 Celsius
Temperature D2 = 23.00 Celsius
Eps= 1.50
Eps>0
Upr = 40 Calculating Eps
Upr started to rise
End

The program is built from blocks. The Begin and End blocks represent the beginning and end of the loop. The temperature of the input temperature sensor and the temperature of the output temperature sensor are also displayed. Then the *Eps* value is calculated

$$Eps = Zdn - D_2 + (Zdn - D_1) \quad (1)$$

Eps always tends to zero. Eps – D1 shows how much the temperature of the input air flow and D2 shows how the temperature of the output air flow corresponds to the task Zdn. The variable Eps changes depending on the value. Upr – variable, providing a fan speed from 0 to 250. Experimentally, the number of steps equal to 10 units was chosen. The permissible range of control actions is from 0 to 255. Since the step is equal to 10 units, the range of control actions is from 0 to 250, that is, 25 steps. If $Eps \prec 0$, then $Upr = Upr - DUpr$.

If $Eps \geq 1$, than control action on the Upr heating element increases. If $Eps \leq 1$, than Upr the control effect on the heating element is reduced. The more the ventilator rotates, the more the heating element heats up.

The LED acts as an indicator, that is, it shows in which mode the system is operating. There are two modes in this system: compensation and working.

If the temperature of the output airflow is greater than the temperature of the input airflow D2>D1, the LED will light up on it and the operating mode status will be displayed. If the temperature of the input air flow is greater than the temperature of the output air flow D1>D2, the LED will light up on it, indicating the operation of the compensation mode.

Conclusion

As a result of this work: an air heating control system has been assembled on a breadboard with a circuit. The proposed system is based on the Arduino Mega 2560 microcontroller. A block diagram of the air heating control system has been developed. Based on the block diagram, a microcontroller, temperature sensors, indicator LEDs and an actuator, that is, a fan, were selected. The basis is the Arduino Mega 2560 microcontroller and the DS18B20 temperature sensor.

In addition, a schematic diagram of the control system was drawn up. It reflects all the elements used and shows the principle of operation between them.

The recording of the program for the microcontroller began with the development of a block diagram of the operation of the air heating control system. After writing the code for the microcontroller, a circuit was assembled on the breadboard and its correctness was checked.

As a result, an algorithm of operation and a set of elements that can be used in any production, production process (for example, grain drying, heating system, air conditioning, etc.), where an air heating control system is considered necessary, are obtained.

References

1 **Испулов, Н. А., Жумабеков, А. Ж., Абдрахманов, А. Б., Нургожина, М. М.** Об измерении температуры термистором с помошиы микроконтроллеров Ардуино [Текст]. – Караганды : Вестник КарГУ, Выпуск: 85. Серия «Физика». – № 1. – Т. 1. – 2017. – С. 73–80.

2 **Испулов, Н. А., Жумабеков, А. Ж., Абдрахманов, А. Б.** Разработка программы универсального термостата с помошью микроконтроллера АтМега8 [Текст]. – Караганды : Вестник КарГУ, Выпуск: 86, Серия «Физика». – № 2. – Т. 2. – 2017. – С. 47–53.

3 **Испулов, Н. А., Жумабеков, А. Ж., Кадиров, К. К., Камашев, С. А.** Ардуино микробақылаушысын пайдаланып ауадағы газ буларын тіркеу [Текст] // Вестник Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова. Серия энергетическая. – 2018. – № 4. – С. 168–173.

4 **Бродин, Б. В.** Микроконтроллеры : Справочник [Текст]. – М. : ЭКОМ, 1999. – 395 с.

5 **Барыбин, А. А.** Электорника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Текст]. – М. : «Букинист», 2008. – 424 с.

6 Белов, А. Б. Конструирование устройств на микроконтроллерах [Текст]. – М. : Наука и Техника, 2005. – 255 с.

7 **Алексенко, А. Г.** Микросхемотехника [Текст]. – М. : Радио и связь, 1990. – 496 с.

8 **Бродин, В. Б.** Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики [Текст]. – М. : ЭКОМ, 2002. – 400 с.

9 **Васильев, А. Е.** Микроконтроллеры : разработка встраиваемых приложений [Текст]. – СПб. : «БХВ-Петербург», 2008. – 197 с.

10 **Вуд, А.** Микропроцессоры в вопросах и ответах [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.

11 **Гилмор, Ч.** Введение в микропроцессорную технику [Текст]. – М. : «Мир», 2002. – 325 б.

12 **Зиатдинов, С. И.** Проектирование специализированных вычислителей цифровой обработки сигналов [Текст]. – СПб. : «БХВ-Петербург», 2002. – 458 с.

13 **Иванов, В. Б.** Программирование микроконтроллеров для начинающих. Визуальное проектирование, язык С, ассемблер [Текст]. – М. : Корона-Век, МК-Пресс, 2010. – 176 с.

References

1 **Ispulov, N. A., Zhumabekov, A. Zh., Abdrakhmanov, A. B., Nurgozhina, M. M.** Ob izmerenii temperatury termistorom s pomoshiy mikrokontrollerov Arduino [About measuring temperature with a thermistor using Arduino microcontrollers] [Text]. – Karagandy : Vestnik KarGU, Vypusk : 85. Seriya «Fizika». – №1. – T.1. – 2017. – P. 73–80.

2 **Ispulov, N. A., Zhumabekov, A. Zh., Abdrakhmanov, A. B.** Razrabotka programmy universalnogo termostata s pomoshiy mikrokontrollera AtMega8 [Development of a universal thermostat program using ATmega8 microcontroller] [Text]. – Karagandy : Vestnik KarGU, Vypusk: 86, Seriya «Fizika». – № 2. – T. 2. – 2017. – P. 47–53.

3 **Ispulov, N. A., Zhumabekov, A. Zh., Kadirov, K. K., Kamashev, S. A.** Arduino mikrobaqylaushysyn paidalanyp auadagy gaz bularyn tirkeu [Registration of gas vapors in the air using the Arduino microcontroller] [Text]. Vestnik Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta im S. Torajgyrova. Seriya energeticheskaya. – 2018. – № 4. – P. 168–173.

4 **Brodin, B. V.** Mikrokontrollery : Spravochnik [Microcontrollers] [Text]. – Moscow : EKOM, 1999. – 395 p.

5 **Barybin, A. A.** Elektornika i mikroelektronika. Fiziko-texnologicheskie osnovy [Electronics and microelectronics. Physical and technological basics] [Text]. – Moscow : «Bukinist», 2008. – 424 p.

6 **Belov, A. B.** Konstruirovanie ustrojstv na mikrokontrollerax [Designing devices on microcontrollers] [Text]. – Moscow : Nauka i Texnika, 2005. – 255 p.

7 **Aleksenko, A. G.** Mikrosxemotexnika [Microchip technology] [Text]. – Moscow : Radio i svyaz, 1990. – 496 p.

8 **Brodin, V. B.** Sistemy na mikrokontrollerax i BIS programmiruemoj logiki [Systems based on microcontrollers and programmable logic BIS] [Text]. – Moscow : EKOM, 2002. – 400 p.

9 **Vasilev, A. E.** Mikrokontrollery : razrabotka vstraivaemyx prilozhenij [Microcontrollers : development of embedded applications] [Text]. – SPb. : «BXV-Peterburg», 2008. – 197 p.

10 **Vud, A.** Mikroprocessory v voprosax i otvetax [Microprocessors in questions and answers] [Text]. – Moscow : Energoatomizdat, 1985. – 184 p.

11 **Gilmor, Ch.** Vvedenie v mikroprocessornuyu texniku [Introduction to microprocessor technology] [Text]. – Moscow : Mir, 2002. – 325 p.

12 **Ziatdinov, S. I.** Proektirovanie specializirovannyx vychislitelej cifrovoj obrabotki signalov [Design of specialized digital signal processing calculators] [Text].– SPb. : BXV-Peterburg, 2002. – 458 p.

13 **Ivanov, V. B.** Programmirovanie mikrokontrollerov dlya nachinayushhix. Vizualnoe proektirovanie, yazyk C, assembler [Programming microcontrollers for beginners. Visual design, C language, assembler] [Text]. – Moscow : Korona-Vek, MK-Press, 2010. – 176 p.

Material received on 20.06.23.

**Н. А. Испулов[1], М. Ж. Султанова[2],*
Ж. Дж. Оспанова[3], Э. М. Джусупова[4]
[1,2,3,4]Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АУАНЫ ЖЫЛЫТУДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ

Мақалада өндірістегі ауаны жылытуды автоматты түрде реттейтін Arduino типті микроконтроллер негізінде жасалған технологиялық шешім қарастырылады.

Қазіргі уақытта микроконтроллерлерде қолдану аясы, параметрлері және басқа қасиеттері бойынша бір-бірінен ерекшеленетін үлкен номенклатура бар (10 000-нан астам). Микроконтроллерлерді шығарумен ондаған өндірушілер айналысады.

Сенімділіктің, жылдамдықтың және функционалдық қанықтылықтың жоғарылауы, сондай-ақ тұтынылатын заманауи есептеу техникасы мен электр энергиясының азаюы оның физикалық

шамалары мен басқарылатын қондырғылары көп күрделі технологиялық объектілерді басқару үшін кеңінен қолданылуына әкелді.

Бұл мақаланың нәтижесі құрылымдық схеманы әзірлеу, басқару жүйесінің схемалық схемасын, блок-схеманы құру, микроконтроллерге арналған бағдарламаны жазу, жұмыс алгоритмін әзірлеу және кез-келген өндірісте, өндіріс процесінде қолдануға болатын элементтер жиынтығы болады (мысалы, кептіру жүйелері, жылыту қондырғылары және т.б.), мұнда ауаны жылытуды басқару жүйесі қажет деп саналады. Сонымен қатар, осы зерттеу жұмысының негізгі тұжырымдары мен тұжырымдамаларын өндірістік процестерде, тұрмыстық техникада және оқу құралы ретінде пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: микроконтроллер, жүйе, басқару элементтері, ауаны жылыту, Arduino.

**Н. А. Испулов[1], М. Ж. Султанова[2],*
Ж. Дж. Оспанова[3], Э. М. Джусупова[4]
[1,2,3,4]Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВА ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

В статье рассматривается технологическое решение, разработанное на базе микроконтроллера типа Arduino с автоматической регулировкой нагрева воздуха в производстве.

В настоящее время микроконтроллеры имеют большую номенклатуру (более 10 000), которая различается между собой по области применения, параметрам и другим свойствам. Выпуском микроконтроллеров занимаются десятки производителей.

Повышение надежности, скорости и функциональной насыщенности, а также уменьшение количества потребляемой современной вычислительной техники и электроэнергии привели к ее широкому использованию для управления сложными технологическими объектами с большим количеством физических величин и управляемых установок.

Результатом этой статьи будет разработка структурной схемы, составление принципиальной схемы системы управления, блок-схемы, запись программы для микроконтроллера, разработка алгоритма работы и набор элементов, которые можно использовать

в любом производстве, производственном процессе (например, сушильные системы, отопительные установки и т.д.), где система управления нагрева воздуха считается необходимой. Так же, основные выводы, концепции данной исследовательской работы могут быть использованы в производственных процессах, бытовой технике и в качестве учебного пособия.

Ключевые слова: микроконтроллер, система, управления, нагрев воздуха, Arduino.

МРНТИ 29.31.26

https://doi.org/10.48081/FQMC8229

А. А. Кисабекова[1], А. С. Красников[2], Г. К. Алпысова[3]
[1]Павлодарский педагогический университет имени Ә. Маргулана, Республика Казахстан, г. Павлодар
[2]Институт физики, Тартуский университет, Эстония, г. Тарту
[3]Карагандинский университет имени Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда
*e-mail: akisabekova@mail.ru

СПЕКТРОСКОПИЯ НИОБАТА $LuNbO_4$:Bi,Eu – ПОТЕНЦИАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ С ПРЕОБРАЗУЮЩИМ ЛЮМИНОФОРОМ

В данной статье рассмотрена передача энергии от ионов Bi^{3+} к ионам Eu^{3+} в монокристаллическом порошке ниобата лютеция $LuNbO_4$:Bi, Eu – потенциального материала для белых светодиодов (WLED). Для этого проведен комплекс спектроскопических измерений в широком интервале температур (4.2–500 K), в работе представлены спектры излучения и возбуждения фотолюминесценции как собственной, так и связанной с ионами висмута и европия, также приведены температурные зависимости максимальной интенсивности основных полос излучения и оценена эффективность передачи энергии в зависимости от концентрации европия. Измерения проводились для ряда образцов, где концентрация ионов Bi^{3+} во всех образцах была одинаковой (2 %), а концентрация ионов Eu^{3+} варьировалась от 0.2 % до 8 %. Для всех исследуемых порошков определены квантовый выход и координаты цветности CIE. Обсуждается возможность применения исследуемого материала в качестве люминофора для белых светодиодов. Все эксперименты в данной работе проводились при непрерывном возбуждении ксеноновой лампой в ультрафиолетовом – видимом (UV-VIS) диапазоне. Следующая работа будет включать в себя измерения при импульсном возбуждении в микро-миллисекундном диапазоне, это позволит подробно характеризовать передачу энергии от матрицы и ионов висмута к ионам европия, что необходимо для дальнейшей оптимизации исследуемого материала.

Ключевые слова: светодиоды, ниобаты, передача энергии, люминофоры, спектроскопия, люминесценция.

Введение

Твердотельные источники света на основе белых светодиодов считаются технологией нового поколения из-за их значительных преимуществ: высокая энергоэффективность, длительный срок службы и низкий уровень загрязнения окружающей среды, по сравнению с обычными лампами накаливания или люминесцентными лампами. Интерес к соединениям, легированным ионами Bi^{3+}, вновь возник в связи с разработкой и производством люминофоров для твердотельных источников света, так называемых белых светоизлучающих диодов, где ионы Bi^{3+} используются для эффективного поглощения света в ближнем ультрафиолетовом диапазоне спектра и передачи энергии к другим излучательным центрам в зелено-красной области спектра.

Совершенствование существующих люминофоров и поиск новых материалов для создания однофазных люминофоров с белым свечением является одной из наиболее актуальных проблем при разработке высококачественных светодиодов с преобразующим люминофором (pc-WLED).

Для усиления фотолюминесценции от активатора (A) со слабым поглощением с использованием доступной энергии возбуждения, в матрицу обычно добавляется сенсибилизатор (C), и его энергия возбуждения передается на активатор, представленный как C*+A=C+A*. Ион Bi^{3+} является хорошим ионом – сенсибилизатором из-за его эффективного поглощения в ультрафиолетовой области, наличия во многих материалах широких полос видимого излучения связанных с ионами Bi^{3+}, а также возможности последующей передачи энергии активаторам, обладающим люминесценцией в оранжево/красной области спектра, таким как ионы Eu^{3+}, Mn^{4+} и т.д. [1]. Таким образом, цвет излучения легко регулировать, изменяя относительное соотношение содержания C/A без изменения состава матрицы. Этот метод используется для разработки новых однофазных многоцветных люминофоров.

В настоящее время наиболее подробно изучены ниобаты $LuNbO_4$, $GdNbO_4$ и $YNbO_4$, активированные различными трехвалентными редкоземельными ионами (см. например, работы [2–10]). Значительно менее исследованы ниобаты, активированные одновременно и ионами Bi^{3+}, и редкоземельными ионами. С целью использования в качестве люминофоров для светодиодов на основе чипа, работающего в ближней УФ-области спектра, были изучены $YNbO_4$:Bi^{3+},Sm^{3+} [7], а также $GdNbO_4$:Eu^{3+},Bi^{3+} и $YNbO_4$:Bi^{3+},Eu^{3+} [11–13].

Необходимо отметить, что $LuNbO_4$ совместно легированный ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} не исследовался совсем.

Цель данной работы подробно изучить люминесцентные характеристики ниобата $LuNbO_4$:Bi, Eu при стационарном (непрерывном) возбуждении, а также рассмотреть процессы передачи энергии от матрицы и ионов висмута к ионам европия. Оценить потенциал данного материала для применения в качестве люминофора для белых светодиодов.

Материалы и методы

Порошки $LuNbO_4$, совместно легированные ионами Bi^{3+} и Eu^{3+}, были получены стандартным методом твердофазного синтеза, описанным в [14]. В качестве исходных материалов использовали высокочистые оксиды Nb_2O_5 99.99 % (Johnson Matthey), Lu_2O_3 99.95 %, Bi_2O_3 99.99 % и Eu_2O_3 99.99 % (China Rare Metal Material Co., Ltd.). Номинальная концентрация висмута была фиксированной 2 %, а номинальная концентрация европия варьировалась от 0.2 до 8 %.

Рентгеноструктурное исследование порошков $LuNbO_4$:2%Bi,Eu показало, что образцы с большой концентрацией ионов Eu^{3+} (2, 4 и 8 % Eu^{3+}) демонстрируют только моноклинную структуру типа фергусонита. Напротив, образцы с наиболее низкой концентрацией ионов Eu^{3+} (0.2 и 0.4 % Eu^{3+}) содержат заметное количество паразитной фазы. Проведенный анализ позволил идентифицировать эту фазу как тетрагональную модификацию $LuNbO_4$ со структурой типа шеелита. Тетрагональная структура шеелита представляет собой высокотемпературный высокосимметричный вариант моноклинной структуры фергусонита. Содержание этой паразитной тетрагональной фазы уменьшается с увеличением содержания Eu^{3+}, полностью исчезая в образце $LuNbO_4$:2%Bi,1%Eu.

В связи с этим, при изучении зависимости эффективности передачи энергии $Bi^{3+}\rightarrow Eu^{3+}$ от концентрации ионов Eu^{3+} использовались только однофазные образцы с концентрациями европия 0, 2, 4 и 8 % Eu^{3+}.

Результаты и обсуждение

Характеристики фотолюминесценции порошка $LuNbO_4$:Bi,Eu

Ион Eu^{3+} хорошо известен своим оранжево-красным/красным свечением, возникающим в результате электронных переходов $^5D_0\rightarrow{}^7F_{1,2}$. Согласно [3, 4, 9, 15], полосы излучения ионов Eu^{3+} в $LuNbO_4$:Eu расположены при ~592 нм (~2.09 eV), ~610 нм (~2.03 eV), ~627 нм (~1.98 eV), ~652 нм (~1.9 eV), ~695 нм (~1.78 eV) и ~708 нм (1.75 eV), а полосы возбуждения, связанные с электронными переходами $^7F_{0,1}\rightarrow{}^5D_{0,1,2,3}$, $^5L_{6,7}$, в спектральном диапазоне 350−600 нм (3.54−2.07 eV).

Для серии образцов $LuNbO_4$:Bi^{3+}(2 %), Eu^{3+}(0.2−8 %) были исследованы характеристики люминесценции при непрерывном возбуждении в широком интервале температур 4.2−500 K. Они были сопоставлены с

люминесцентными характеристиками порошка $LuNbO_4$:Bi^{3+} с той же концентрацией висмута (2 %), но нелегированного ионами Eu^{3+}.

Спектры излучения порошка $LuNbO_4$:Bi,Eu, измеренные при 79 K при возбуждении в собственной полосе экситонного поглощения (~5 эВ) и в области поглощения ионов Bi^{3+} (~4 эВ), представлены на рисунке 1а. Для сравнения на рисунке 1б представлены спектры люминесценции порошка $LuNbO_4$:Bi с таким же содержанием Bi^{3+}, измеренные в тех же условиях. Видно, что кроме широких полос собственной экситонной люминесценции и люминесценции, связанной с ионами Bi^{3+}, наблюдаются и интенсивные узкие линии излучения, расположенные в диапазоне энергий 1.72–2.14 эВ и обусловленные переходами $^5D_0\rightarrow{}^7F_{1,2,3,4}$ в ионах Eu^{3+} [3, 4, 9, 15]. На рисунке 1в представлен также спектр возбуждения излучения Eu^{3+} (~1.75 эВ). Практически полное перекрытие полос поглощения (возбуждения) ионов Eu^{3+} с представленными на рисунках 1а и 1б полосами как собственной (~2.9 эВ), так и связанной с ионами Bi^{3+} (~2.41 эВ) люминесценции $LuNbO_4$:Bi позволяет предположить наличие эффективной передачи энергии от собственных или обусловленных ионами Bi^{3+} центров люминесценции к ионам Eu^{3+} в $LuNbO_4$:Bi,Eu.

Действительно,

1) как видно из рисунка 1а, излучение ионов Eu^{3+} эффективно возбуждается как в области собственного поглощения матрицы $LuNbO_4$ (например, при 4.96 эВ), так и в полосе поглощения ионов Bi^{3+} (3.95 эВ);

2) рисунок 1г демонстрирует, что спектры излучения ионов Eu^{3+}, измеренные при возбуждении в полосах поглощения ионов Bi^{3+} (~4 эВ, кривая 1) и Eu^{3+} (~2.1 эВ, кривая 2), совпадают;

3) с ростом концентрации ионов Eu^{3+} в исследуемых образцах при возбуждении как в собственной полосе экситонного поглощения, так и в области поглощения ионов Bi^{3+}, происходит увеличение интенсивности излучения, связанного с ионами Eu^{3+} (рисунок 2, красные точки). Одновременно уменьшается интенсивность излучения, связанного с ионами Bi^{3+} (рисунок 2б, черные точки), и собственного свечения ниобата $LuNbO_4$ (рисунок 2б, черные точки);

4) на рисунке 3а представлен спектр возбуждения, измеренный при 79 K для полосы излучения, связанной с ионами Bi^{3+} в $LuNbO_4$:Bi. Такая же полоса возбуждения, расположенная при ~4 эВ, наблюдается и в спектре возбуждения свечения Eu^{3+} (~1.75 эВ) $LuNbO_4$:Bi, Eu (рисунок 3б).

Все перечисленные факты свидетельствуют о том, что передача энергии к ионам Eu^{3+} действительно имеет место в $LuNbO_4$:Bi,Eu.

Температурные зависимости интенсивности излучения Eu^{3+} и Bi^{3+}, измеренные при возбуждении в полосе поглощения Bi^{3+} (~4 эВ), представлены на рисунке 4. Для свечения, связанного с ионами Bi^{3+} (2.41 эВ)

в $LuNbO_4$:Bi (рисунок 4а, кривая 1) и $LuNbO_4$:Bi, Eu (рисунок 4а, кривая 2), эти зависимости совпадают. Температурные зависимости интенсивности свечения Eu^{3+}, измеренные при возбуждении в полосах поглощения Bi^{3+} (рисунок 4а, кривая 3) и Eu^{3+} (рисунок 4б), также совпадают. Это говорит о том, что эффективность передачи энергии от ионов Bi^{3+} к ионам Eu^{3+} не зависит от температуры из-за полного перекрытия полос люминесценции с полосами поглощения ионов Eu^{3+}.

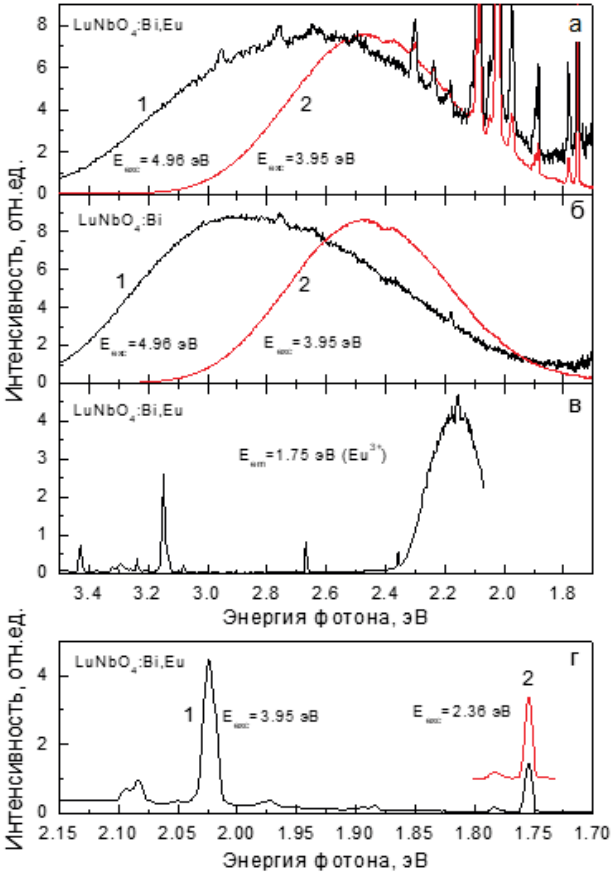


Рисунок 1 − Спектры излучения (а) $LuNbO_4$:Bi, Eu и (б) $LuNbO_4$:Bi, измеренные при возбуждении в собственной полосе экситонного поглощения (1) и в области поглощения Bi^{3+} (2); (в) спектр возбуждения излучения Eu^{3+} в $LuNbO_4$:Bi, Eu; (г) спектры излучения Eu^{3+} в $LuNbO_4$:Bi, Eu при возбуждении в области поглощения ионов Bi^{3+} (1) и Eu^{3+} (2). T=79 K

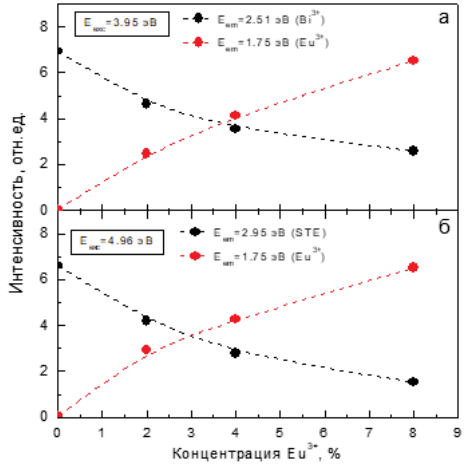


Рисунок 2 − Зависимости максимальной интенсивности люминесценции, обусловленной ионами Bi^{3+} (черные точки) и Eu^{3+} (красные точки), от концентрации Eu^{3+}, измеренные для порошков $LuNbO_4$:Bi, Eu при возбуждении (а) в полосе поглощения Bi^{3+} и (б) в собственной полосе экситонного поглощения

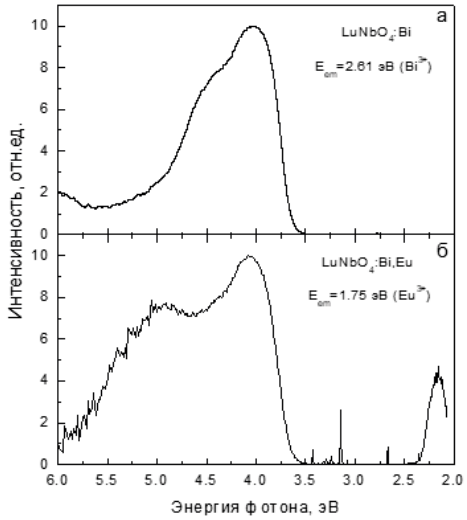


Рисунок 3 − Спектры возбуждения люминесценции порошков (а) $LuNbO_4$:Bi, для полос излучения, обусловленных ионами Bi^{3+} и (б) $LuNbO_4$:Bi,Eu для полос излучения, обусловленных ионами Eu^{3+}. T=79 K

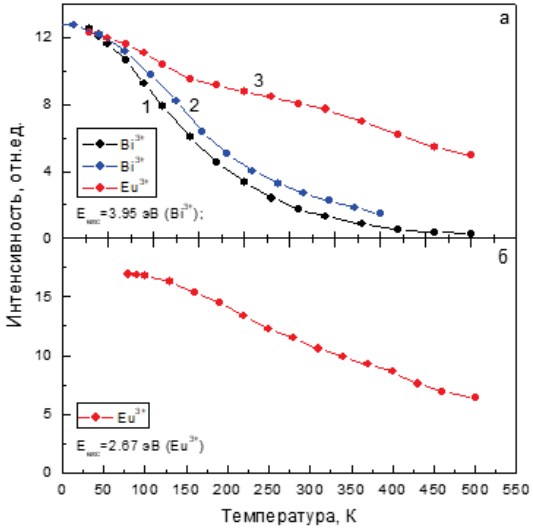


Рисунок 4 – Температурные зависимости максимальной интенсивности люминесценции $LuNbO_4$:Bi,Eu (черные и красные точки) и $LuNbO_4$:Bi (синие точки), измеренные при возбуждении (а) в области поглощения ионов Bi^{3+} для полос излучения, обусловленных ионами Bi^{3+} (кривые 1, 2) и Eu^{3+} (кривая 3), а также (б) в области поглощения Eu^{3+} для свечения ионов Eu^{3+}

Для оценки возможности применения ниобатов $LuNbO_4$, легированных ионами Bi^{3+} и Eu^{3+}, в качестве люминофоров для белых светодиодов (БСД/WLED) для всех исследованных образцов были проведены измерения квантового выхода люминесценции и определены координаты цветности CIE. Измерения проводились при комнатной температуре. Полученные результаты приведены на рисунке 5 и в таблице 1. Оказалось, что увеличение концентрации европия в $LuNbO_4$:Bi^{3+}, Eu^{3+} позволяет изменить цвет свечения люминофора от синего (Bi^{3+}(2 %), Eu^{3+}(0.2%)) к красному (Bi^{3+}(2 %), Eu^{3+}(8 %)) с промежуточным белым (CIE 1931: 0.314, 0.315) цветом для образца $LuNbO_4$:Bi^{3+}(2%), Eu^{3+}(0.4%). Как видно из таблицы 1, увеличение квантового выхода происходит с увеличением концентрации Eu^{3+}. К сожалению, из-за температурного тушения люминесценции (см. рисунок 4) образец с подходящим для БСД (WLED) белым свечением обладает довольно низким квантовым выходом (~18%).

Таблица 1 – Рассчитанные координаты цветности CIE различных образцов $LuNbO_4$:Bi^{3+}(2%), Eu^{3+} и соответствующие квантовые выходы при возбуждении 300 нм (4.13 эВ)

Концентрация Eu^{3+} (%)	Квантовый выход (%)	Координаты цветности (x,y)
0.2	18.8±0.7	(0.254, 0.296)
0.4	17.9±0.6	(0.314, 0.315)
1	25.1±0.7	(0.374, 0.318)
2	26.2±0.6	(0.502, 0.338)
4	29.1±2	(0.538, 0.340)
8	41.9±2.1	(0.608, 0.341)

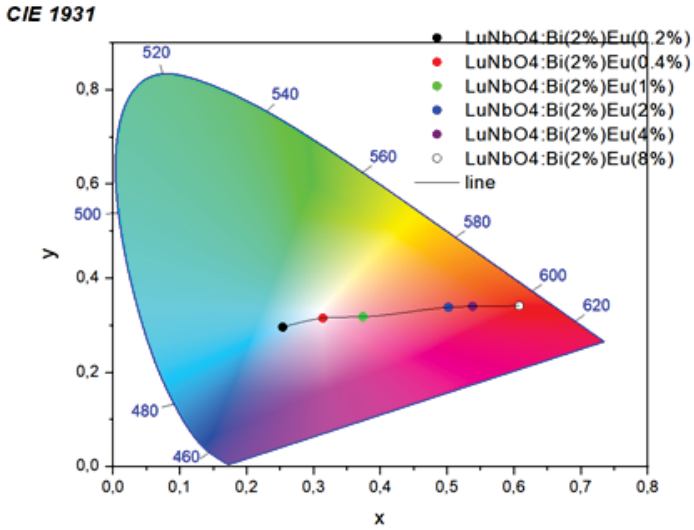


Рисунок 5 – Диаграмма цветности (CIE 1931) исследованных образцов $LuNbO_4$:Bi^{3+}, Eu^{3+}

Информация о финансировании

Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №. AP19177651).

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что ниобат $LuNbO_4$:Bi,Eu имеет поглощение в широкой области спектра (3.7–6.0 eV, рисунок 3). Как видно из рисунка 1а, широкие полосы как собственного, так и связанного с ионами Bi^{3+} видимого излучения и оранжево-красное свечение ионов Eu^{3+}

также охватывают широкий спектральный диапазон. Эти данные могут указывать на возможность применения ниобата $LuNbO_4$:Bi,Eu в белых светодиодах. Действительно, для образца $LuNbO_4$:Bi^{3+}(2%),Eu^{3+}(0.4%) были получены довольно хорошие координаты цветности (CIE 1931: 0.314, 0.315), но он обладает низким квантовым выходом.

Показано, что в ниобатах $LuNbO_4$:Bi,Eu происходит эффективная передача энергии от от центров, связанных с ионами Bi^{3+}, к ионам Eu^{3+}. Это проявляется в (1) появлении излучения люминесценции ионов Eu^{3+} при возбуждении в полосах поглощения ионов Bi^{3+}; (2) появлении полос, характерных для связанной с ионами Bi^{3+} люминесценции, в спектре возбуждения излучения ионов Eu^{3+}; (3) перераспределении интенсивностей полос свечения, связанных с ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} и возбуждаемых в полосе поглощения ионов Bi^{3+}, с ростом концентрации Eu^{3+}.

Список использованных источников

1 **Dang, P. P., Liu, D. J., Li, G. G. et al.** Recent Advances in bismuth ion-doped phosphor materials : structure design, tunable photoluminescence properties, and application in white LEDs [Text] //Advanced Optical Materials. – 2020. – Vol. 8. – P. 1–33.

2 **Liu, X., Chen, C., Li, S., Dai, Y., Guo, H., Tang, X., Xie, Y., Yan, L.** Host-Sensitized and Tunable Luminescence of $GdNbO_4$:Ln^{3+} (Ln^{3+} = Eu^{3+}/Tb^{3+}/Tm^{3+}) Nanocrystalline Phosphors with Abundant Color [Text] // Inorganic Chemistry. – 2016. – Vol. 55. – P. 10383–10396.

3 **Xiao, X., Yan, B.** Synthesis and luminescent properties of novel $RENbO_4$:Ln^{3+} (RE = Y,Gd,Lu; Ln = Eu,Tb) micro-crystalline phosphors [Text] // J. Alloys and Compouns. – 2006. – Vol. 421. – P. 252–257.

4 **Mahesh, S. K., Prabhakar Rao, P., Linda Francis, T., Reshmi, V. R., Koshy, P.** Intense red line emitting phosphor $LuNbO_4$:Eu^{3+} for white light emitting diode applications [Text] // Materials Letters. – 2014. – Vol. 120. – P. 115–117.

5 **Park, J., Kim, Y.-J.** Up- and down-conversion luminescence of $LuNbO_4$:Yb^{3+}, Er^{3+} phosphors [Text] // Journal of the Korean Ceramic Society. – 2017. – Vol. 54. – P. 70–74.

6 **Wang, T., Hu, Y., Chen, L., Wang, X., He, M.** A white-light emitting phosphor $LuNbO_4$:Dy^{3+} with tunable emission color manipulated by energy transfer from NbO43- groups to Dy^{3+} [Text] // Journal of Luminescence. – 2017. – Vol. 181. – P. 189–195.

7 **Guo, H., Chi, X., Wei, Y., Noh, H., Moon, B., Park, S.-H., Jeong, J., Kim, K.** Luminescence and Energy Transfer Process in $YNbO_4$:Bi^{3+}, Sm^{3+} Phosphors [Text] // Science of Advanced Materials. – 2017. – Vol. 9. –No.¾. – P. 349–352.

8 **Zhang, L., Yi, Sh., Hu, X., Liang, B., Zhao, W., Wang, Y.** Synthesies and photoluminescence properties of multicolor tunable $GdNbO_4$:Tb^{3+}, Eu^{3+} phosphors based on energy transfer [Text] // Modern Physics Letters B. – 2017. Vol. 31. – P. 1750051.

9 **Im, M., Kim, Y.** Energy transfer and multiple photoluminescence of LuNbO4 co-doped with Eu^{3+} and Tb^{3+} [Text] // Materials Research Bulletin. – 2019. – Vol. 112. – P. 399–405.

10 **Liu, Ch., Pan, F., Peng, Q., Zhou, W., Shi, R., Zhou, L., Zhang, J., Chen, J., Liang, H.** Excitation wavelength dependent luminescence of $LuNbO_4$: Pr^{3+} – influences of intervalence charge transfer and host sensitization [Text] // Journal of Physical Chemistry C. – 2016. – Vol. 120. – P. 26044–26053.

11 **Jiang, Z., Yu, X., Gou, J., Duan, L., Su, X., Fan, G., Duan, Y.** Design, luminescence and energy transfer of single-phased color-tunable $YNbO_4$: Bi^{3+}, Eu^{3+} phosphor for UV pumped white light-emitting diodes [Text] // Journal of Materials Science : Materials in Electronics. – 2017. – Vol.28. – P. 3630–3636.

12 **Zhang, D., Tang, A., Yang, L., Zhu, Z.** Potential red-emitting phosphor $GdNbO_4$:Eu^{3+},Bi^{3+} for near-UV white light emitting diodes [Text] // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2012. – Vol. 19. – №11. – P. 1036–1039.

13 **Xue, J., Noh, H. Mi, Choi, B. Ch., Park, S.-H., Kim, J. H., Jeong, J. H., Peng, D.** Dual-functional of non-contact thermometry and field emission displays via efficient Bi^{3+}→Eu^{3+} energy transfer in emitting-color tunable $GdNbO_4$ phosphors [Text] // Chemical Engerireeng Journal. – 2020. – Vol. 382. – P. 122861.

14 **Baran, M., Belikov, K. N., Kissabekova, A., Krasnikov, A., Lushchik, A., Mihokova, E., Tsiumra, V., Vasylechko, L., Zazubovich, S., Zhydachevskyy, Ya.** Origin of luminescence in Bi^{3+} – doped lanthanide niobates [Text] // J. Alloys and Compounds – 2021. – Vol. 859. – P. 157800.

15 **Binnemans, K.** Interpretation of europium (III) spectra [Text] // Coordination Chemistry Reviews. – 2015. – Vol. 295. – P. 1–45.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**А. А. Кисабекова[1], А. С. Красников[2], Г. К. Алпысова[3]*
[1]Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;
[2]Физика институты, Тарту университеті, Эстония, Тарту қ.;
[3]Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ТҮРЛЕНДІРГІШ ЛЮМИНОФОРЫ БАР ЖАРЫҚДИОД ҮШІН ПОТЕНЦИАЛДЫ МАТЕРИАЛ $LuNbO_4$:Bi,Eu НИОБАТ СПЕКТРОСКОПИЯСЫ

Бұл мақалада Bi^{3+} иондарынан $LuNbO_4$:Bi, Eu лютеций ниобатының монокристалды ұнтағындағы Eu^{3+} иондарына – ақ жарықдиодты потенциалды фосфорға (WLED) энергияның берілуі қарастырылады. Ол үшін кең температура интервалында (4.2–500 K) спектроскопиялық өлшеулер кешені жүргізілді, жұмыста меншікті және висмут және Европа иондарымен байланысты фотолюминесценцияның сәулелену және қозу спектрлері ұсынылған, негізгі сәулелену жолақтарының максималды қарқындылығының температуралық тәуелділіктері ұсынылған, сондай-ақ европий концентрациясына байланысты Энергияны беру тиімділігі бағаланған. Барлық үлгілердегі Bi^{3+} иондарының концентрациясы бірдей (2 %), ал Eu^{3+} иондарының концентрациясы 0.2 %-дан 8 %-ға дейін өзгеретін бірқатар үлгілер үшін өлшеулер жүргізілді. Барлық зерттелетін ұнтақтар үшін кванттық шығыс пен түс координаттары CIE анықталған. Зерттеу материалын ақ жарық диодтары үшін фосфор ретінде қолдану мүмкіндігі туралы қорытынды жасалды. Бұл жұмыстағы барлық эксперименттер ультракүлгін – көрінетін (UV-VIS) диапазонында ксенон шамымен үздіксіз қозу кезінде жүргізілді. Келесі жұмыс микро-миллисекундтық диапазондағы импульстік қозу кезіндегі өлшемдерді қамтиды, бұл матрицадан және висмут иондарынан зерттелетін материалды одан әрі оңтайландыру үшін қажет европий иондарына энергияның берілуін егжей-тегжейлі сипаттауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: жарықдиоды, ниобаттар, энергияны тасымалдау, люминофор, спектроскопия, люминесценция.

**A. A. Kissabekova[1], A. S. Krasnikov[2], G. K. Alpyssova[3]*
[1]Pavlodar Pedagogical University named after A. Margulan, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;
[2]Institute of Physics, University of Tartu, Estonia, Tartu;
[3]Karaganda Buketov University, Republic of Kazakhstan, Karaganda.
Material received on 20.06.23.

SPECTROSCOPY OF NIOBATE $LuNbO_4$:Bi, Eu – POTENTIAL MATERIAL FOR LEDs WITH A CONVERSION LUMINOPHORE

In this paper energy transfer from Bi^{3+} ions to Eu^{3+} ions in a single crystal powder of lutetium niobate $LuNbO_4$:Bi, Eu – a potential material for white light-emitting diodes (WLED) is considered. For this purpose a set of spectroscopic measurements was performed in a wide temperature range (4.2-500 K), emission spectra and excitation of photoluminescence both proper and related to bismuth and europium ions were presented, also the temperature dependences of the maximum intensity of the main emission bands were given and the energy transfer efficiency depending on the europium concentration was evaluated. The measurements were carried out for a series of samples where the concentration of Bi^{3+} ions in all samples was the same (2 %), and the concentration of Eu^{3+} ions varied from 0.2 % to 8 %. The quantum yield and CIE chromaticity coordinates were determined for all investigated powders. The possibility of using the studied material as a phosphor for white LEDs is discussed. All experiments in this work were performed under continuous excitation by a xenon lamp in the ultraviolet – visible (UV-VIS) range. The next work will include measurements under pulsed excitation in the micro-millisecond range, this would allow to characterize in detail the energy transfer from the matrix and bismuth ions to europium ions, which is necessary for further optimization of the investigated material.

Keywords: LEDs, niobates, energy transfer, phosphor, spectroscopy, luminescence.

FTAMP 47.45.99

https://doi.org/10.48081/ILUB9413

***Р. Т. Қасым[1], А. С. Толегенова[2],**
Л. А. Соболева[3], А. Болатбеков[4], Т. Г. Сериков[5]
[1,4] Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[2,3,5]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.
e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

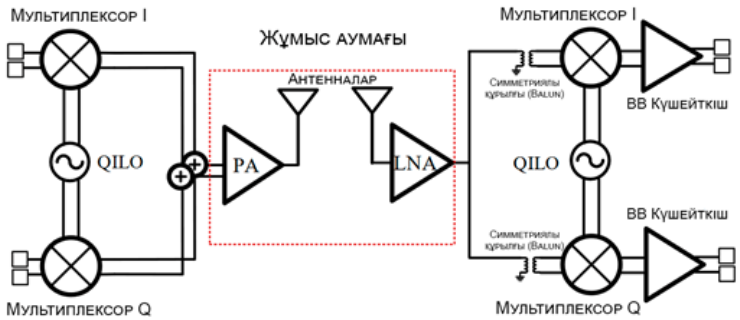
ИНТЕРФЕЙСТЕР АРАСЫНДАҒЫ АҚПАРАТТЫ УЛЬТРА КЕҢ ЖОЛАҚТЫ КӨП АНТЕННАЛЫ СЫМСЫЗ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ МОДЕЛІ

Бұл жұмыста 20 мм тарату қашықтығы жағдайында борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісі ұсынылған. кең жолақты қосылым үшін бортта Y-тәрізді антенна қолданылады және арна өнімділігін бағалау үшін PA-antenna-LNA байланысы өлшенеді. Ұсынылған байланыс желісі 3,2 дБ шыңы мен 14 ГГц өткізу қабілеттілігін 4 дБ күшейтуді көрсетеді. 16-QAM модуляция форматында 50 Гбит/с жылдамдықпен деректерді беруді модельдеу орындалды. Дискретті таңбалар тізбегі 0,2 ауытқу коэффициенті бар жоғары косинусты импульсті қалыптастыру сүзгісі арқылы сигнал пішініне айналады. Содан кейін аналогтық сигнал PA-антенна-антенна-LNA тізбегі мен араластырғыш арқылы беріледі. Сымсыз байланыс желісінің идеалды сипаттамалары таңбалар арасындағы кедергілерді тудырмаса да, кедергілерді сызықтық эквалайзер арқылы басуға болады. Таратқыш пен қабылдағыш арасында деректерді беру бойынша одан әрі жұмыс жүргізілетін болады. Қорытындыда зерттеуде ұсынылған байланыс желісі 3,2 дБ жоғары көрсеткішін және 4 дБ күшейтілген 14 ГГц өткізу қабілеттілігін көрсетеді. 16-QAM модуляция жүйесін қолдана отырып, 50 Гбит/с деректерді беруді модельдеу сандық түрде жүзеге асырылған. Чип аралық ISI-ді ZF сызықтық эквалайзерімен басқаруға болатыны, өнімділік шамамен 2–3 дБ төмендейтіні зерттеліп қорытыланды.

Кілттік сөздер: 120 ГГц, Сымсыз байланыс, CMOS, антенна, чиптен чипке технологиясы, PA-antenna-LNA.

Кіріспе

Электрондық өнеркәсіп дамыған сайын тұтынушылардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ондаған Гбит /с деректерді беру жылдамдығымен жоғары жылдамдықты байланысқа деген қажеттілік артып келеді. Кәдімгі сымды байланыс жағдайында ондаған гигабит сигналы паразиттік қарсылық пен сыйымдылыққа байланысты өткізгіштік пен диэлектриктің жоғалуына байланысты электр арналарында айтарлықтай әлсіреуге және бұрмалануға әкеледі. Осы шығындардың орнын толтыру үшін сигналдың тиімді деңгейін ұстап тұру үшін бірнеше ретранслятор қажет, бұл үлкен қуат тұтынуға әкеледі және бүкіл жүйенің энергия тиімділігін төмендетеді. Сондықтан «чип-чип» сымсыз байланысы сымды қосылымды ауыстыруға жарамды үміткер болып табылады [1]. Жақында деректерді Гбит/с жылдамдықпен қысқа қашықтыққа беру үшін субтерагерц диапазонындағы CMOS таратқыштары мен ОС қабылдағыштары туралы есептер пайда болды [1]. «Чип-чипке» ультра жылдамдықты сымсыз байланысты жүзеге асыру үшін кең өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ететін THz-ден төмен жиілік диапазоны таңдалды. Бұл жұмыс жоғары жылдамдықты сымсыз байланыс желісін бағалау үшін 120 ГГц борттық сымсыз байланыс желісін талдайды.



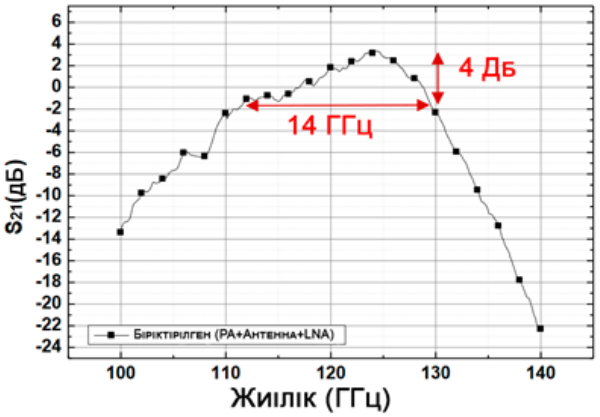
Сурет 1 – 120 ГГц жиіліктегі чиптер арасындағы байланыс арнасының құрылымдық схемасы

Материалдар және әдістер

Борттағы чиптер арасындағы сымсыз байланыс үшін ұсынылған 16 QAM таратқышы мен қабылдағышының жүйелік құрылымдық схемасы 1 суретте көрсетілген. Ұсынылған таратқыш квадратуралық инъекциялық синхрондау генераторынан (MLO), қуат күшейткішінен (PA) және күшейтетін түрлендіргіш енгізу-шығару араластырғышынан тұрады. Қабылдағыш LNA, белсенді balun, төмендететін түрлендіргіш араластырғыш, квадратуралық инъекциялық блоктау генераторы (QILO) және негізгі жолақты күшейткіштен

тұрады. Бұл мақалада алдын-ала нәтиже ретінде PA-antenna-antenna-LNA арнасы байланыс имитаторы арқылы байланыс арнасын бағалау үшін векторлық желілік анализатормен өлшенеді.

Кең жолақты PA 40 нм CMOS көмегімен жасалған, ол 3 дБ (96,5–135 ГГц) күшейту коэффициентімен 38,5 ГГц өткізу қабілеттілігін және 16 ДБ шыңын күшейтуді қамтамасыз етеді [2]. Кең өткізу қабілеттілігіне полюсті басқаратын трансформатор технологиясы арқылы қол жеткізіледі. Кең жолақты CMOS-LNA сонымен қатар 40 нм CMOS көмегімен жасалған, ол 25,2 ГГц өткізу қабілеттілігін 3 дБ (108,9–134,1 ГГц) күшейту коэффициентімен және 20,5 ДБ шыңымен қамтамасыз етеді. Кірістірілген 120 ГГц сымсыз байланыс желісі екі Y-тәрізді ұзын сымды антенналар жиынтығымен жасалған. Y-тәрізді антеннаның сипаттамасы келтірілген [3]. Тефлон субстратының (er 2,2) қалыңдығы 0,38 мм; антеннаның жалпы ауданы 2×2,2 мм^2 құрайды. 2 см қашықтықтағы борттық байланыс желісінің S21 имитациясы -32 ДБ және 28 ГГц құрайды. Фриис формуласын қолдана отырып, әр антеннаның күшейту коэффициенті 4 дБи құрайды (сурет 2). Борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісі үшін S21 өлшенген шамасын көрсетеді. Ұсынылған сымсыз байланыс желісі 3,2 дБ шыңын және 4 ДБ күшейту коэффициенті бар 14 ГГц өткізу қабілеттілігін көрсетеді.



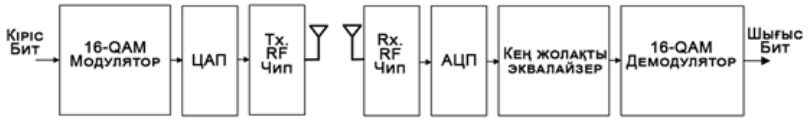
Сурет 2 – Өлшенген шама S21 борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісі үшін. Байланыс қашықтығы 20 мм ге тең

Нәтижелер мен талқылау

PA-антенна-антенна-LNA тізбегін өлшеу нәтижелеріне сүйене отырып, MATLAB симуляторын қолдана отырып, байланыс модельдеу жүзеге

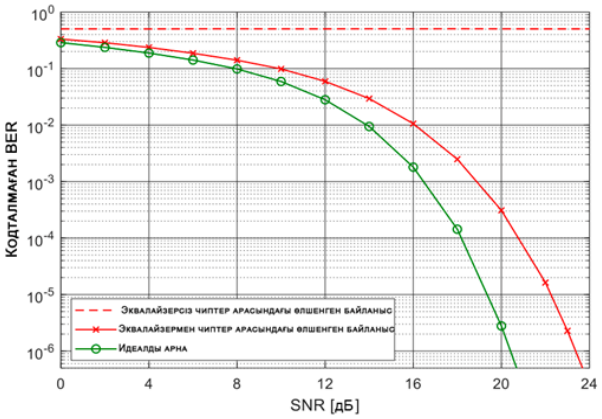
асырылады. Інжір. 3 PA – антенна-антенна-LNA тізбегін қоса, деректер жүйесінің толық құрылымдық схемасын көрсетеді. Құрылған кездейсоқ биттік тізбектер 16-QAM форматында модуляцияланады және сандық аналогтық түрлендіргіштің көмегімен кіріс радиожиілік сигналының формасына айналады. Дискретті таңбалар тізбегі 0,2 ауытқу коэффициенті бар жоғары косинусты импульсті қалыптастыру сүзгісі арқылы сигнал пішініне айналады. Содан кейін аналогтық сигнал PA-антенна-антенна-LNA тізбегі мен араластырғыш арқылы беріледі. Қабылдағышта Шығыс биттері аналогты-цифрлық түрлендіргіш пен демодуляция процесі арқылы танылады. Жиілікті жоғарылататын/төмендететін араластырғыш және негізгі жолақты күшейткіш өте қолайлы деп саналады.

Өлшенген «чип-чип» сымсыз байланыс желісінің импульстік сипаттамасы кері Фурье түрлендіру арқылы алынды. Радиожиілік тізбегінің сипаттамалары 3-суретте көрсетілгендей мінсіз болмағандықтан, арнаның импульстік реакциясы бірнеше таңбалық кезеңдерге бөлініп, таңбааралық кедергілерді (ISI) тудырады. Isi-мен жұмыс істеу үшін ресиверде нөлдік күш сызықтық эквалайзер (ZF) қолданылады [4].



Сурет 3 – Борттық деректерді чиптен чипке беру жүйесін модельдеудің құрылымдық схемасы

Өлшенген «чип-чип» сымсыз байланыс желісінің ber кодталмаған өнімділігі тамаша арнамен салыстырғанда 4-суретте көрсетілген. Идеал емес сымсыз байланыс желісі жағдайында isi эквалайзермен тежелуі мүмкін және қалдық кедергілер идеалды арналар жүйесімен салыстырғанда өнімділіктің шамамен 2–3 дБ төмендеуіне әкеледі.



Сурет 4 – Өлшенген «чип-чип» байланыс желісі мен тамаша арнаның ber кодталмаған өнімділігі

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды, AP14869840 – «Интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз тасымалдауды зерттеу және құру» жобасы аясында шығарылды.

Қорытынды

Бұл жұмыс 20 мм тарату қашықтығы жағдайында борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісін ұсынады. кең жолақты байланыс үшін бортта Y-тәрізді антенна қолданылады, ал арнаның өнімділігін бағалау үшін PA-антенна-антенна-LNA сызығы өлшенеді. Ұсынылған байланыс желісі 3,2 дБ шыңын және 4 ДБ күшейтілген 14 ГГц өткізу қабілеттілігін көрсетеді. 16-QAM модуляция жүйесін қолдана отырып, 50 Гбит/с деректерді беруді модельдеу сандық түрде жүзеге асырылады. Чип аралық ISI-ді ZF сызықтық эквалайзерімен басқаруға болады, өнімділік шамамен 2–3 дБ төмендейді.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **DiTomaso, D., Kodi, A., Matolak, D., Kaya, S., Laha, S. and Rayess, W.** “A-WiNoC: Adaptive Wireless Network-on-Chip Architecture for Chip Multiprocessors” // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. – 2015. – Vol. 26. – No. 12. – P. 3289–3302.

2 **Shamim, M. S., Mansoor, N., Narde, R. S., Kothandapani, V., Ganguly, A. and Venkataraman, J.** “A Wireless Interconnection Framework for Seamless

Inter and Intra-Chip Communication in Multichip Systems” // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 66. – No. 3. – P. 389–402. – March 1, 2017. – https://doi.org/10.1109/TC.2016.2605093.

3 **Narde, R. S., Mansoor, N., Ganguly, A. and Venkataraman, J.** “On-Chip Antennas for Inter-Chip Wireless Interconnections : Challenges and Opportunities” // Proceedings of the EuCAP ’18. – 2018.

4 **Laha, S., Kaya, S., Matolak, D. W., Rayess, W., DiTomaso, D. and Kodi, A.** “A New Frontier in Ultra-low Power Wireless Links : Network-on-Chip and Chip-to-Chip. 11. Interconnects” // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – Vol. 34. – No. 2. – P. 186-198. – February 2015.

5 **Benini, L. and De Micheli, G.** “Networks on chips: a new SoC paradigm” // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 35. – No. 1. – P. 70–78. – 2002.

6 **Kim, J., Choi, K., and Loh, G.** “Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication” // IEEE J. Emerg. Sel. Topics Circuits Syst. – Vol. 2. – No. 2. – P. 124–136. – June, 2012.

7 **Chen, Y. and Han, C.** “Channel modeling and characterization for wireless networks-on-chip communications in the millimeter wave and terahertz bands” // IEEE Trans. Mol. Biol. Multi-Scale Commun . – Vol. 5. – No. 1. – P. 30–43. – Oct. 2019.

8 **Gade, S. H. and Deb, S.** “HyWin : Hybrid wireless NoC with sandboxed sub-networks for CPU/GPU architectures” // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 66. – No. 7. – P. 1145–1158. – 2017.

9 **Chen, Y. and Han, C.** “Channel Modeling and Analysis for Wireless Networks-on-Chip Communications in the Millimeter Wave and Terahertz Bands” // Proceedings of the INFOCOM WKSHPS ’18. – 2018.

10 **Kim, J., Choi, K. and Loh, G.** “Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication” // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2012.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

**Р. Т. Қасым[1], А. С. Толегенова[2],*
Л. А. Соболева3, А. Болатбеков[4], Т. Г. Сериков[5]
[1,4]Академия логистики и транспорта,
Республика Казахстан, г. Алматы;
[2,3,5] Казахский агротехнический университет исследовательский имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

МОДЕЛЬ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ МНОГОАНТЕННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ ИНТЕРФЕЙСАМИ

В данной работе представлена беспроводная сеть 120 ГГц для связи между бортовыми чипами в условиях расстояния передачи 20 мм. для широкополосного соединения на борту используется Y-образная антенна, а соединение PA-antenna-LNA измеряется для оценки производительности канала. Предлагаемая линия связи показывает пик 3,2 дБ и усиление полосы пропускания 14 ГГц на 4 ДБ. Выполнено моделирование передачи данных со скоростью 50 Гбит/с в формате модуляции 16-QAM. Дискретная последовательность символов преобразуется в форму сигнала с помощью фильтра формирования импульсов с высоким Косинусом с коэффициентом отклонения 0,2. Затем аналоговый сигнал подается через схему PA-антенна-антенна-LNA и микшер. Хотя идеальные характеристики беспроводной сети не создают помех между символами, помехи можно подавить с помощью линейного эквалайзера. Будет проведена дальнейшая работа по передаче данных между передатчиком и приемником. В заключении показано, что сеть связи, представленная в исследовании, показывает более высокий показатель 3,2 дБ и повышенную полосу пропускания 14 ГГц на 4 ДБ. Моделирование передачи данных со скоростью 50 Гбит/с с использованием системы модуляции 16-QAM осуществлялось в цифровом виде. Изучено, что промежуточным ISI чипа можно управлять с помощью линейного эквалайзера ZF, производительность снижается примерно на 2–3 дБ.

Ключевые слова: 120 ГГц, беспроводная связь, CMOS, антенна, технология «чип-чип», PA-antenna-LNA.

**R. T. Kassym[1], A. S. Tolegenova[2],*
L. A. Soboleva[3], A. Bolatbekov[4], T. G. Serikov[5]
[1,4]Academy of Logistics and Transport, Republic of Kazakhstan, Almaty,
[2,3,5]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana.
Material received on 20.06.23.

A MODEL OF ULTRA-WIDEBAND MULTI-ANTENNA WIRELESS TRANSMISSION OF INFORMATION BETWEEN INTERFACES

This paper presents a 120 GHz wireless network for communication between on-board chips at a transmission distance of 20 mm. For broadband connection, a Y-shaped antenna is used on board, and the PA-antenna-LNA connection is measured to evaluate the channel performance. The proposed communication line shows a peak of 3.2 dB and a gain of 14 GHz bandwidth by 4 dB. A simulation of data transmission at a speed of 50 Gbit/s in the 16-QAM modulation format was performed. A discrete sequence of symbols is converted into a signal form using a high-Cosine pulse shaping filter with a deviation coefficient of 0.2. Then the analog signal is fed through the PA-antenna-antenna-LNA circuit and a mixer. Although the ideal characteristics of a wireless network do not create interference between symbols, interference can be suppressed using a linear equalizer. Further work will be carried out on data transmission between the transmitter and receiver. In conclusion, it is shown that the communication network presented in the study shows a higher indicator of 3.2 dB and an increased bandwidth of 14 GHz by 4 DB. Simulation of data transmission at a speed of 50 Gbit/s using the 16-QAM modulation system was carried out digitally. It has been studied that the intermediate ISI of the chip can be controlled using a linear equalizer ZF, the performance is reduced by about 2-3 dB.

Keywords: 120 GHz, Wireless, CMOS, antenna, Chip-to-chip technology, PA-antenna-LNA.

SRSTI 44.31.29

https://doi.org/10.48081/VRLW6407

V. Mitrofanov[1], G. G. Abdullina[2], R. M. Dyusova[3], G. K. Ahmedyanova[4], D. G. Aigozhina[5]

[1,2,3,4,5]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

*e-mail: gulnara_1277@mail.ru

MATHEMATICAL MODEL OF PARTICLE ENTRAINMENT FROM A FLUIDIZED BED

The paper proposes a one-dimensional mathematical model for describing the movement of liquefying air and the movement of particles in the gas-solids fluidized bed apparatus. The modeling is based on the mathematical approach of the theory of counting Markov chains. The factor determining the material entrainment from the apparatus was introduced into the model by using a macro diffusion coefficient, which made it possible to supplement the matrix of transition probabilities with probabilities of random throwing of particles into neighboring cells of the chain. Numerical experiments performed with the developed model allowed us to obtain qualitatively consistent results with respect to the distribution of the solid phase and the gradual removal of particles from the apparatus. The results obtained allow to consider the proposed model as a reliable basis for the development of a computer method for calculating the expansion of the bed and the entrainment of particles from technological equipment.

Keywords: fluidized bed, Markov chain theory, macrodiffusion, entrainment, mathematical modeling.

Introduction

The principle of fluidization of a particulate medium by a gasifying agent and the technique using this principle penetrated into the energy industry when some experience had already been accumulated in the chemical and related industries. In part, this experience was associated with the accumulation of some claims to classical fluidization schemes. With this in mind, the vector of development of fluidization technology in the energy sector was initially directed towards forcing hydrodynamic regimes [1-3]. However, the search for more intensive hydrodynamic fluidization regimes is inextricably linked with an increase in the entrainment of material from the equipment, which to a certain extent is limited

by the organization of the looping of the phases of the bed [3–4]. Nevertheless, devices with a traditional fluidized bed have occupied their niche in the energy sector and are used in fuel treatment and combustion systems [3–5]. In this regard, the task of constructing and investigating models of particle entrainment from the apparatus remains urgent.

Various mathematical approaches are used to simulate the operation of fluidized bed apparatuses [4–8], among which cell models occupy an increasingly expanding niche [9–10]. However, these models were developed either for the study of conditionally periodic fluidization (without entrainment of particles) [9] or a circulating fluidized bed [10]. Thus, the possibility of modeling the operation of the periodic principle of operation apparatus (in which undesirable entrainment of particles is almost always observed) has not been investigated.

Materials and methods

The mathematical apparatus of the Markov chain theory is used here as a computational basis for constructing the model. The main provisions of the model were proposed earlier [9-10], so here they will be set out only in the main provisions. The space of the apparatus is represented by a set of a countable number of n cells organized into a chain, which is characterized by a vector of states of the system S. The evolution of state vectors is calculated for discrete time points $t_k=(k-1)\Delta t$, where Δt is the time step, k is the time step number.

$$S_p^{k+1}=P_p^k S_p^k, \quad (1)$$

where P_p is the matrix of transition probabilities.

The matrix P_p is a tri-diagonal matrix, elements of which are calculated as: probability of downward transitions for the particles in i-th cell

$$P_{p,i-1,i}=d+v_i^k\cdot(1-e), \quad i=\overline{1, n-1}, \quad (2)$$

probability of upward transitions for the particles in i-th cell

$$P^k_{p,i+1,i}=d+v_i^k\cdot e, \quad i=\overline{1, n-1}, \quad (3)$$

probability to stay for the particles in i-th cell

$$P^k_{p,i,i}=1-P^k_{p,i+1,i}-P_{p,i,i+1}, \quad i=\overline{1, n}, \quad (4)$$

where *d* is the probability of pure stochastic (diffusion) transitions, v_i^k is the probability of convection transition caused by the gas upstream flow, if $v_i^k>0$ e=1 and if $v_i^k<0$ e=0.

The probability of stochastic transitions can be defined as:

$$d=D\Delta t/\Delta x^2, \quad (5)$$

where D is the dispersion coefficient.

The asymmetrical transition probability can be defined as:

$$v_i^k=(W_i^k - V_{sj}^k)\,\Delta t/\Delta x^2, \quad (6)$$

The state of the gas phase is also described as distributed over a chain of cells. The state vector for the gas Sg changes according to a similar recurrent procedure

$$S_g^{k+1}=P_g^k S_g^k+ S_{gf}, \quad (7)$$

where P_g is the matrix of transition probabilities for gas, S_{gf} is the vector of gas source.

Assuming that the gas flow moves only upwards, it is possible to write down the probabilities of transitions along the chain, organizing them into a transition matrix Pg, in the following form

probability of upward transitions

$$P^k_{g,i+1,i}=v_i^k, \text{ for } 1\le i<n-1, \quad (8)$$

probability to stay

$$P^k_{g,i,i}=1- v_i^k, \text{ for } 1\le i<n, \quad (9)$$

where $v_i^k =W_i^k\Delta t/\Delta x$ is the asymmetrical part of probability transition along the chain for gas, W_i is local gas velocity in the i-th cell.

The principles of identification of model parameters used further are described in detail in [9–10].

Results and discussion

Figure 1 shows a computational scheme for modeling the motion of phases in a fluidized bed.

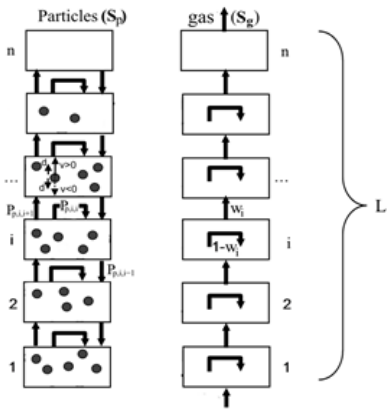


Figure 1 – Calculation scheme of a the mathematical model

In the simulation, the device was represented by chains of 10 cells with a height of Δx=0,1 m. The amount of material in the last cell of the chain was stored in a separate array (this is the entrainment vector). As the particles are removed from the apparatus (at the initial moment of time there was 3 kg in it), the state of

the fluidized bed changes, while asymptotically the weight of the particulate solid in the apparatus tends to zero. In this regard, the study of the transition process is of greater interest.

Figure 2 shows the distribution of particles along the bed height for a time of 15 minutes, as well as the change in the intensity of particle entrainment during 30 minutes of fluidization.

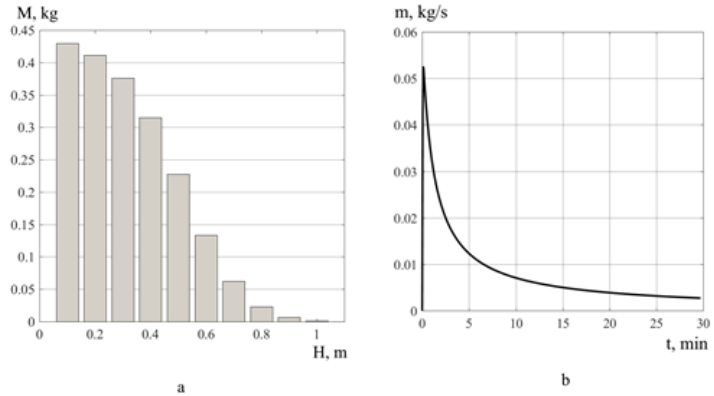


Figure 2 – distribution of the solid phase along the height of the fluidized bed (a); intensity of particle entrainment from the apparatus (b)

As can be seen, the distribution of particles along the height of the bed, due to the presence of stochastic probabilities of particle motion, has a completely trivial appearance (Fig. 2a), while the particle entrainment rate has a maximum with complete liquefaction of the initial loading mass, and then decreases, tending to zero (Fig. 2b).

Conclusions

The study proposes a cellular mathematical model of the fluidized bed state, in which the introduction of a random probability of transfer between cells makes it possible to obtain a qualitatively consistent distribution of the phases of the bed over the height of the layer and at the calculated level to explain the mechanism of entrainment of solid phase particles from the apparatus.

References

1 **Мухленов, И. П.** Расчеты аппаратов кипящего слоя : справочник / И. П. Мухленов, Б. С. Сажин, В. Ф. Фролов; под ред. И. П. Мухленова. – Л. : Химия, 1986. – 352 с.

2 **Митрофанов, А. В., Шуина, Е. А., Камело, А. Ф., Шумыло, Е. Р.** Разработка вероятностно-статистической модели сушки частиц биотоплива в кипящем слое инертного носителя // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. – № 3. – С. 57–64.

3 **Oka, S. N.** Fluidized Bed Combustion. – NY : Basel, Marcel Dekker, 2004. – 599 p.

4 **Lu, X., Li, S., Du, L., Yao, J., Lin, W., Li, H.** Flow structures in the downer circulating fluidized bed // Chemical Engineering Journal. – 2005. – Vol. 112. – Issues 1–3. – P. 23–31.

5 **Wen-Chin, Y.** Handbook of fluidization and fluid-particle systems / NY : MarcelDekker Inc., 2003. – 878 p.

6 **Баскаков, А. П., Мунц, В. А.** Сжигание твердых топлив и горючих отходов в котлах со стационарным и циркуляционным кипящим слоем // Химическая промышленность. – 1993. – № 12. – С. 61-65.

7 **Zhonghua, W., Mujumdar, A. S.** CFD modeling of the gas-particle flow behavior in spouted beds // Powder Technology. – 2008. – Vol. 183. – P. 260–272.

8 **Deen, N. G., van SintAnnaland, M., van der Hoef, M. A., Kuipers, J. A. M.** Review of discrete particle modeling of fluidized beds // Chem. Eng. Sci. – 2007. – Vol. 62. – P. 28–44.

9 **Mitrofanov, A. V., Mizonov, V. E., Tannous, K., Ovchinnikov, L. N.** A Markov chain model to describe fluidization of particles with time-varying properties // Particulate Science and Technology. – 2018. – Vol. 36. – No. 2. – P. 244–253.

10 **Mitrofanov, A. Mizonov, V., Camelo, A., Tannous, K.** Application of the theory of Markov chains to theoretical study of processes in a circulating fluidized bed // Particulate Science and Technology. – 2019. – Vol. 37. – No. 8. – P. 1028–1033.

References

1 **Muhlenov, I. P.** Raschety apparatov kipyashego sloya: Spravochnik [Calculation of fluidized bed reactors. Hand-book] / I. P. Muhlenov, B. S. Sazhin, V. F. Frolov; pod red. I. P. Muhlenova. – L. : Khimiya, 1986. – 352 p. (in Russian)

2 **Mitrofanov, A. V., Shuina, E. A., Camelo, A. F., Shumylo, E. R.** Razrabotka veroyatnostno-statisticheskoj modeli sushki chastic biotopliva v kipyashchem sloe inertnogo nositelya [Stochastic modeling of biofuel particulate drying in the fluidized bed with inert support] // Vestnik IGEU. – 2018. – № 3. – P. 57–64. (in Russian)

3 **Oka, S. N.** Fluidized Bed Combustion. – NY : Basel, Marcel Dekker, 2004. – 599 p.

4 **Lu, X., Li, S., Du, L., Yao, J., Lin, W., Li, H.** Flow structures in the downer circulating fluidized bed // Chemical Engineering Journal. – 2005. – Vol. 112. – Issues 1–3. – P. 23–31.

5 **Wen-Chin, Y.** Handbook of fluidization and fluid-particle systems / NY : MarcelDekker Inc., 2003. – 878 p.

6 **Baskakov, A. P., Munts, V. A.** Szhiganie tverdyh topliv i goryuchih othodov v kotlah so stacionarnym i cirkulyacionnym kipyashchim sloem [Combustion of solid fuels and combustible waste in boilers with stationary and circulating fluidized bed] // Himicheskaya promyshlennost'. – 1993. – № 12. – P. 61–65.

7 **Zhonghua, W., Mujumdar, A. S.** CFD modeling of the gas-particle flow behavior in spouted beds // Powder Technology. – 2008. – Vol. 183. – P. 260–272.

8 **Deen, N. G., van SintAnnaland, M., van der Hoef, M. A., Kuipers, J. A. M.** Review of discrete particle modeling of fluidized beds // Chem. Eng. Sci. – 2007. – Vol. 62. – P. 28–44.

9 **Mitrofanov, A. V., Mizonov, V. E., Tannous, K., Ovchinnikov, L. N.** A Markov chain model to describe fluidization of particles with time-varying properties // Particulate Science and Technology. – 2018. – Vol. 36. – No. 2. – P. 244–253.

10 **Mitrofanov, A. Mizonov, V., Camelo, A., Tannous, K.** Application of the theory of Markov chains to theoretical study of processes in a circulating fluidized bed // Particulate Science and Technology. – 2019. – Vol. 37. – No. 8. – P. 1028–1033.

Material received on 20.06.23.

**А. В. Митрофанов[1], Г. Г. Абдуллина[2], Р. М. Дюсова[3], Г. К. Ахмедьянова[4], Д. Г. Айгожина[5]*
[1,2,3,4,5]Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ҚАЙНАҒАН ҚАБАТЫ БАР АППАРАТТАН БӨЛШЕКТЕРДІ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Жұмыста сұйытылған ауаның қозғалысын және қайнаған қабат аппаратындағы бөлшектердің қозғалысын сипаттайтын бір өлшемді математикалық модель ұсынылған. Модельдеудің негізі Марковтың санау тізбегі теориясының математикалық аппараты болып табылады. Құрылғыдан материалдың тасымалдануын анықтайтын Фактор модельге макро диффузиялық коэффициентті қолдану арқылы енгізілді, бұл өтпелі ықтималдық матрицасын іргелес тізбек

ұяшықтарына бөлшектердің кездейсоқ құйылу ықтималдығымен толықтыруға мүмкіндік берді. Әзірленген модельмен жүргізілген сандық эксперименттер қатты фазаның таралуына және бөлшектердің аппараттан біртіндеп шығарылуына қатысты сапалы дәйекті нәтижелерге қол жеткізді. Алынған нәтижелер ұсынылған модельді қабаттың кеңеюін және бөлшектердің технологиялық аппаратурадан шығуын есептеудің компьютерлік әдісін дамытудың сенімді негізі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: қайнаған қабат, Марков тізбектерінің теориясы, макродиффузия, алып кету, математикалық модельдеу.

**А. В. Митрофанов[1], Г. Г. Абдуллина[2], Р. М. Дюсова[3], Г. К. Ахмедьянова[4], Д. Г. Айгожина[5]*
[1,2,3,4,5]Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УНОСА ЧАСТИЦ ИЗ АППАРАТА С КИПЯЩИМ СЛОЕМ

В работе предложена одномерная математическая модель для описания движения ожижающего воздуха и перемещения частиц в аппарате кипящего слоя. Основой моделирования служит математический аппарат теории счетных цепей Маркова. Фактор, определяющий унос материала из аппарата, введен в модель за счет использования макродиффузионного коэффициента, который позволил дополнить матрицу переходных вероятностей вероятностями случайного заброса частиц в соседние ячейки цепи. Выполненные численные эксперименты с разработанной моделью позволили получить качественно непротиворечивые результаты в отношении распределения твердой фазы и постепенного выноса частиц из аппарата. Полученные результаты позволяют рассматривать предложенную модель в качестве достоверной основы для развития компьютерного метода расчета расширения слоя и уноса частиц из технологической аппаратуры.

Ключевые слова: кипящий слой, теория цепей Маркова, макродиффузия, унос, математическое моделирование.

МРНТИ 50.43.19

https://doi.org/10.48081/SVLH7840

М. Ж. Мусагажинов[1], А. Д. Мехтиев[2]
[1,2]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана
*e-mail: musagazhinov@bk.ru

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ВОЛС

Низкая своевременность эксплуатации и технического обслуживания в определенной степени снижает надежность эксплуатации и технического обслуживания сетевых коммуникаций, поэтому особенно актуальным является изучение технологии эксплуатации и технического обслуживания сетевых коммуникаций, основанной на больших данных.

Проблемы, связанные с обеспечением контроля за техническим состоянием конструкций особо ценных зданий и сооружений – объектов культурного наследия, существовали всегда, и их возможным решением на сегодняшний день является внедрение значительного прогресса в области инновационных технологий, программного и аппаратного обеспечения, разработка эффективных алгоритмов сбора и обработки информации. Одной из таких проблем является мониторинг технического состояния объектов культурного наследия в режиме реального времени.

Проверка технического состояния таких объектов является периодической при отсутствии непрерывного мониторинга технического состояния конструкций, ответственных за несущуюспособность здания или сооружения в целом.

В этой статье описывается разница между несколькими различными режимами передачи в области оптоволоконной связи и обсуждаются связанные с этим факторы, которые ограничивают надежность и своевременность сети передачи по оптоволокну. На этой основе в данной статье анализируется возможность интеграции технологии больших данных и оптоволоконной сети, а также перечисляются типичные области применения технологии

больших данных в оптоволоконной сети, что обеспечивает новое направление мышления для мониторинга производительности и обслуживания эксплуатации оптоволоконной сети передачи информации.

Ключевые слова: оптическая сеть, технологии, передача информации, интеллектуальная система, техническое обслуживание.

Введение

Волоконная оптика – это метод передачи информации с использованием оптических волокон. Оптическое волокно – это тонкая нить из стекла или пластика, которая служит средством передачи, по которому передается информация. Таким образом, он выполняет ту же основную функцию, что и медный кабель, передающий телефонный разговор, компьютерные данные или видео. Однако, в отличие от медного кабеля, оптическое волокно переносит свет вместо электронов. При этом он обладает множеством неоспоримых преимуществ, которые делают его предпочтительным средством передачи информации.

В зависимости от области применения схема передатчика и приемника может быть очень простой или довольно сложной. Другие компоненты, составляющие волоконно-оптическую систему передачи, такие как ответвители, мультиплексоры, оптические усилители и оптические коммутаторы, обеспечивают средства для построения более сложных линий связи и коммуникационных сетей. Однако передатчик, оптоволокно и приемник являются основными элементами в каждой волоконно-оптической системе.

Помимо простого соединения, волоконно-оптическая среда является фундаментальным строительным блоком для оптической связи.Большинство электрических сигналов могут быть переданы оптически. Было изобретено много оптических компонентов, позволяющих обрабатывать сигналы оптически без электрического преобразования. При этом, одна из целей оптической связи состоит в том, чтобы иметь возможность работать полностью в оптической области от конца системы до конца эксплуатации. Оптоволоконная связь отличается от традиционной телекоммуникационной связи, и между ними существуют существенные различия [1]. Технология волоконно-оптической связи достигает цели передачи информации, используя оптическое волокно, состоящее из оптического волокна, в качестве носителя передача информации. Телекоммуникационная технология использует высокочастотную световую волну в качестве носителя для передачи информации. Режим оптоволоконной связи обладает несравнимыми преимуществами в полосе частот передачи и пропускной способности связи, что делает его глубоко интегрированным со всеми аспектами производства и жизни человека.

Одним из наиболее важных параметров для количественной оценки уровня повреждений в бетонной конструкции является наличие трещин. Поведение при растрескивании и контроль ширины трещин являются важными факторами при проектировании бетонных конструктивных элементов. В настоящее время большинство составов для оценки и контроля ширины трещины изначально были разработаны для трещин при растяжении и изгибе. В конкретном случае касательных напряжений не существует конкретной методологии для оценки ширины трещины сдвига в бетонных элементах [1]. Это происходит потому, что механизм диагонального растрескивания не перпендикулярен вертикальное армирование и оно более сложное, чем осевое растрескивание или растрескивание при изгибе [2]. Несколько методик оценки ширины трещин сдвига в бетонных элементах основаны на нескольких экспериментальных и аналитических исследованиях [6, 7, 9]. Однако для получения экспериментальных данных в этих составах во время и после испытания необходимо выполнить несколько ручных действий и наблюдений, таких как отслеживание рисунка трещин маркировочным пером или измерение прогрессии ширины трещин с помощью визуальных методов. Важно учитывать последствия, поскольку несколько во всех этих действиях могут возникать ошибки измерения. В этой статье предложен способ получения средней ширины трещины сдвига в бетонных конструкциях с использованием экспериментальных данных, полученных с помощью распределенного оптоволоконного датчика (DOFS), подключенного к системе оптического рефлектометра с обратным рассеянием (OBR). В настоящее время аналогичные методы DOFS применяются для изучения нескольких инженерных задач [10,11].

Материалы и методы

На протяжении многих лет, по мере того как волоконно-оптические коммуникации росли и изменялись, существовало много различных типов соединителей. Сегодня существует четыре распространенных типа соединителей, которые используются в большинстве волоконно-оптических приложений. В [6] отмечено, что, в отличие от балки 1–2 (рисунок 1), в которой первые трещины были обнаружены на горизонтальных участках, и только при более высоких уровнях нагрузки трещины появились на вертикальных участках, в балке 1–3 трещины появляются в обоих направлениях практически одновременно. Результаты показывают осуществимость предложенного метода при расчете ширины трещины сдвига по сравнению с результатами, полученными с помощью традиционных приборов.

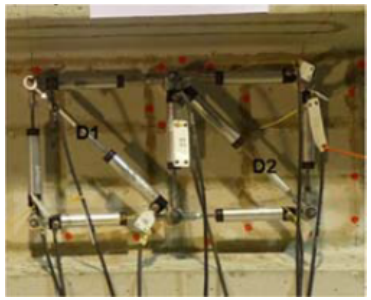


Рисунок 1 – Диагональные потенциометры луча

В соответствии с потребностями системы используется унифицированная система онлайн-мониторинга оптического кабеля, основанная на интеллектуальном облачном программном обеспечении. Система мониторинга состоит из центрального сервера и нескольких распределенных хостов. Каждый распределенный хост может поддерживать измерение по умолчанию по 32-канальной оптоволоконной линии связи и может открывать или закрывать соответствующие порты измерения в соответствии со своими собственными требованиями к тестированию. Топология архитектуры системы мониторинга показана на рисунке 2 [5].

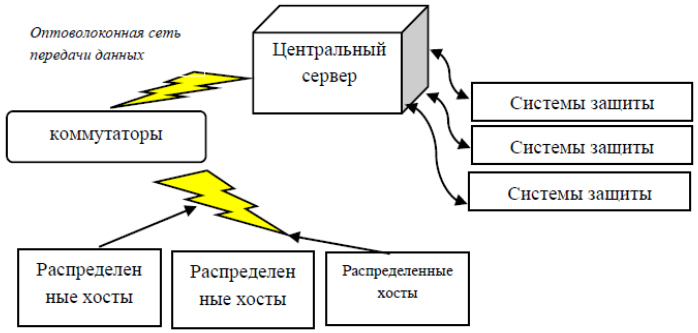


Рисунок 2 – Топология системы передачи информации [5]

Среди них сервер выполняет функции установления тестовой топологии оптического волокна для каждого тестового узла, управления пользователями, резервного копирования тестовых данных и переадресации сигналов тревоги. Распределенный хост отвечает за проверку и тестирование оптоволоконных линий и хранение данных о неисправностях [7].

Без использования центральный сервер, благодаря настройке программного обеспечения, каждый распределенный хост может выполнять все функции мониторинга и сигнализации как независимое устройство. Через сеть (интранет / экстранет) можно войти в систему с помощью интеллектуальных терминальных устройств, таких как ПК, ноутбук или планшетный компьютер, для выполнения запроса, тестирования или настройки системы.

Режим развертывания системы. Эта система состоит из ядра оптического отражателя временной области (ООВО) и системы мониторинга (облачной платформы). С помощьютехнологии спонтанного рассеяния Бриллюэна (ООВО) можно дистанционно отслеживать, не подвергается ли силовой кабель связивнешним повреждениям, пожару, обледенению, скачущему ветру и другим рискам [8]. Импульсный оптическийсигнал подается с одного конца чувствительного оптического волокна, и свет, рассеиваемый Бриллюэном, генерируемыйв оптическом волокне, направляется обратно на фотоприемник в противоположном направлении, а затем свет, рассеиваемый Бриллюэномсдвиг частоты вычисляется в системе сбора и обработки данных для получения температуры илидеформации, измеряемых чувствительным оптическим волокном [9]. Система мониторинга облачной платформы обеспечивает эффективнуюпередачу данных, алгоритм глубокого обучения больших данных, а также анализ и обработку данных. Своевременно сообщайте о местоположении неисправности, тревоге и раннем предупреждении, анализе деградации сети и т.д. Показатели мониторингасистемы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эксплуатационные параметры

Характеристики температурного поля		Характеристики поля напряжения	
Диапазон измерения	-60℃~120℃	-	-
Разрешение по температуре	±1℃	Измерение напряжение	±10με
Пространственное разрешение	5 м	Пространственное разрешение	10 м
Интервал пробела	0-50 км	Интервал пробела	0-50 км

Обсуждение и результаты

Состояние развития волоконно-оптической связи. Обычный одномодовый волоконно-оптический кабель волоконной связи. Оптический кабель, используемый в обычной оптоволоконной связи, является наиболее распространенным одномодовым оптическим кабелем [3].

Диэлектрическая волоконно-оптическая связь. Оптические кабели, используемые в волоконно-оптической связи, не все изготовлены из металлических материалов, и наиболее идеальной линией связи является своего рода диэлектрик.

Инструмент также выявил литературу, относящуюся к каждой категории зданий, в которой метод неразрушающего контроля использовался в аналогичном приложении, не связанном с энергоаудитом зданий, что дало исследователям представление о потенциальных направлениях в области неразрушающего контроля и повысило эффективность и охват каждого из них. Этот инструмент развивается вместе с литературой и должен обновляться всякий раз, когда публикуется новая литература, чтобы обеспечить его актуальность для более потенциальных гибридных рабочих процессов, если они будут выявлены.

Одна из категорий, на которую тестировался каждый метод неразрушающего контроля, – это мобильность оборудования и интеграция с беспилотными летательными аппаратами. Беспилотные летательные аппараты представляют собой эффективное, быстрое и безопасное решение для проведения модернизации, а благодаря их способности к автоматизации процесс модернизации значительно ускоряется. Результаты подтвердили, что 5 из 6 методов неразрушающего контроля были успешно интегрированы с беспилотниками, и, таким образом, подтверждают право NDT возглавить процесс документации по модернизации. Глядя в будущем дальнейшая автоматизация процесса представления данных посредством объединения данных приведет к прямой интеграции в моделирование BEM. Это позволило бы быстро принимать решения и разрабатывать политику, а также подтверждать их, что сделало бы идею крупномасштабной национальной модернизации осязаемой реальностью.

Система информационного мониторинга и управления сетью связи на большинстве предприятий является относительно отсталой, что приводит к неспособности предприятий сформировать интегрированную информационную бизнес-платформу. В настоящее время информационная платформа поддержки эксплуатации сетей связи и управления техническим обслуживанием многих телекоммуникационных предприятий в основном использует развертывание режим управления, продвигаемый национальной сетью и провинциальной сетью, среди которых IMS, ISS и другие системы мониторинга сети и безопасности для управления эксплуатацией и техническим обслуживанием сети связи, в основном используют платформу, развернутую национальной сетью ипровинциальной сетью [4–5]. Кроме того, телекоммуникационным предприятиям не хватает специального интегрированного централизованного платформа мониторинга работы сети связи. В системе супервизии вся управленческая работа может выполняться только персоналом по эксплуатации и техническому обслуживанию на их соответствующих терминальных узлах, что приводит к отсутствию общего представления об управлении бизнесом.

В то же время система может обновлятьбаза сетевых ресурсов динамически изменяется в соответствии с изменениями сети в процессе обслуживания. Представим следующие модули мониторинга сети передачи информации.

1 Модуль фильтрации и анализа сигналов неисправностей. В соответствии с сетевой моделью и методом ассоциации на основе модели модуль может анализировать массивные сигналы тревоги и определять источник неисправности и тип неисправности.

2 Модуль определения местоположения сетевой неисправности. Модуль может определять тип неисправности и идентифицировать неисправное оборудование в соответствии с моделью сетии результатами фильтрации сигнала тревоги.

3 Модуль обработки сетевых сбоев. В зависимости от типа и местоположения неисправности модуль может вызвать экспертную систему для созданиясхемы устранения неисправности. В то же время он может отправить схему устранения неисправностей соответствующему персоналучерез мобильный Интернет и мобильное приложение. Кроме того, модуль может генерировать электронную карту, отмеченную местоположением точки неисправности в соответствии с географическим расположением точки неисправности.

На рисунке 3 показана архитектура платформы интеллектуального анализа отказов оптоволокна.

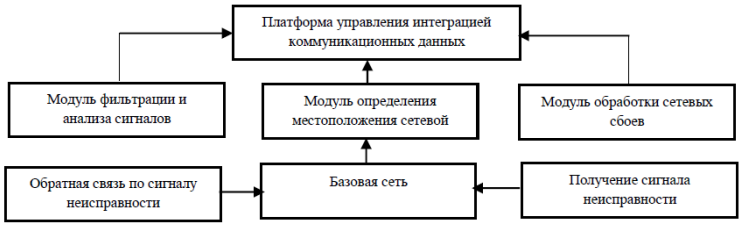


Рисунок 3 – Архитектура интеллектуальной платформы анализа отказов оптоволокна

Таким образом, разработка новых датчиков, которые предоставляют такие всеобъемлющие данные, имеет решающее значение. Распределенные волоконно-оптические датчики обладают потенциалом для выполнения этой задачи практичным способом, позволяющим проводить детальную оценку поведения RC на месте и в лаборатории. В [12–13] демонстрируются возможности сопряжения коммерчески доступных волоконно-оптических кабелей и блок анализа обратного рассеяния Рэлея для захвата поведения RC с использованием распределенных данных о деформации. В лаборатории

была проведена серия испытаний балок, а также испытание балки на живую нагрузку в недавно построенном здании. Было обнаружено, что волоконно-оптические датчики способны измерять полностью распределенные профили деформации арматуры, полные формы отклонения и ширину трещин. Однако методы зондирования не смогли зафиксировать поведение деформации после растяжения или прогиба, и точность измерений прогиба и ширины трещин снизилась, когда в бетоне появились трещины. Данные полевого мониторинга, полученные в ходе испытания под нагрузкой в реальном времени, показали, что внешняя связь.

Волоконно-оптические датчики становятся все более популярными для мониторинга различных типов гражданской инфраструктуры. Будучи невосприимчивыми к электромагнитным помехам и демонстрируя превосходную долговечность в суровых условиях окружающей среды, оптические волокна предлагают явное преимущество перед традиционными электрическими датчиками в этой области.

Выводы

В процессе управления техническим обслуживанием волоконно-оптической линии наиболее важным звеном является контроль производительности и техническое обслуживание волоконно-оптической кабельной линии. Если возникнет проблема сволоконно-оптической кабельной линией, это серьезно повлияет на всю сеть связи. В эпоху глубокой интеграции больших данных и коммуникационных технологий масштаб сетисвязи будет все больше и больше, а мониторинг производительности и управление техническим обслуживанием оптического волокна будут осуществляться линии будут более важными. Поэтому предприятия связи должны не только постоянно обновлять технологический уровень, но и менять режим технического обслуживания волоконно-оптической сети передачи информации.

References

1 **Liu, Wei.** Current situation and Countermeasures of optical fiber communication lines [J] // Electronic technology and software engineering, 2019. – (11): 18.

2 **Yishu, Qu.** Application of optical fiber communication technology in railway communication system [J] // Chinese and foreign entrepreneurs, 2019. – (19): 85.

3 IET Gener. Transm. Distrib. – 2020. – Vol. 14. – Issue 1. – P. 166–171. The Institution of Engineering and Technology 2019 Monitoring of the transmission line galloping with a novel distributed optical fibre sensor and its statistical data analysis [Electronic resource]. – URL: https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/ 10.1049/iet-gtd.2018.6802 (Access date 28.06.2022).

4 20th International Conference on Optical Fibre Sensors, edited by Julian Jones, Brian Culshaw, Wolfgang Ecke, José Miguel López-Higuera, Reinhardt Willsch, Proc. of SPIE Vol. 7503, 75034M © 2009 SPIE · CCC code: 0277-786X/09/$18 · doi: 10.1117/12.835447 Proc. of SPIE Vol. 7503 75034M-1. [Электронный ресурс]. – URL: https://sintef.brage.unit.no/sintef-mlui/bitstream/handle/11250/2431459/SINTEF%2BS12 863. pdf?sequence=1&isAllowe (Дата обращения 28.06.2022).

5 Research and Application of Transmission Line Environmental Monitoring Based on Optical Fiber Sensing Technology / He Lishuai1, Wang Xiaofeng2 , Song Yang2, Ma Yu2, Lu Bin3, Li Yan1, Xue Ji4, Mei Lanxuan1, Xu Cunde1, Liu Chong1, Li Bin1, Gao Lei1, Huang Yunkun1. // Journal of Physics : Conference Series. – 1607. – 2020. – 012018. – IOP Publishing [Электронный ресурс]. – https://doi.org/10.1088/1742-6596/1607/1/012018 (Дата обращения 28.06.2022).

6 **De Silva, S., Mutsuyoshi, H. and Witchukreangkrai, E.** Evaluation of Shear Crack Width in IShapedPrestressed Reinforced Concrete Beams // Journal of Advanced Concrete Technology. 2008. – Vol. 6. – No. 3. – P. 443-458.

7 **Adebar, P.** Diagonal cracking and Diagonal Crack Control in Structural Concrete // ACI SP-204: Design and Construction. Practices to Mitigate Cracking, 2001. – P. 85–106.

8 **Stoerzel, J. and Randal, N.** Monitoring shear induced degradation of reinforced and pretensionedconcrete members // IABSE Conference. Structural Engineering: Providing Solutions to Glogal Challenges.Geneva, Switzerland, 2015.

9 Experimental Investigation on shear crackingbehaviour in reinforced concrete beams with shear reinforcement // Journal of Advanced ConcreteTechnology. – 2009. – Vol. 7. – No.1. – P. 79–95.

10 **Wong, L., Rathnayaka, S., Chiu, W. K. and Kodikara, J.** Utilising hydraulic transientexcitation for fatigue crack monitoring of a cast iron pipeline using optical distributed sensing // Structural Control and Health Monitoring. – January, 2018. – Vol. 25. – Issue 4.

11 **Wang, X., Shi, B., Wei, G., Chen, S., Zhu, H. and Wang, T.** Monitoring the behavior of segmentjoint in a shield tunnel using distributed optic fiber sensors // Structural Control and Health Monitoring. – July, 2017. – Vol. 25. – Issue 1.

12 **Song, Z., Zhang, D., Shi, B., Chen, S. and Shen, M.** Integrated distributed fiber optic sensingtechnology-based structural monitoring of the pound lock // Structural Control and Health Monitoring. – July, 2016. – Vol. 25. – Issue 1; September, 2016. – Vol. 24. – Issue 7.

13 **Masri, Y., Rakha, T.** A scoping review of non-destructive testing (NDT) techniques in building performance diagnostic inspections // Construction and Building Materials. – Vol. 265. – December 30, 2020. – 120542. – https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120542.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**М. Ж. Мусагажинов[1], А. Д. Мехтиев[2]*
[1,2]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ЖҮЙЕЛЕРІН ДАМЫТУДЫҢ ӘЛЕМДІК ҮРДІСІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТОБЖ ЖҮЙЕСІНІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІН МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАЙ-КҮЙІНЕ ШОЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ДАМЫТУ

Желіні пайдалану мен техникалық қызмет көрсетудің дәстүрлі технологиясы-әкімші желінің ақаулығы туралы хабарламаны пассивті түрде күтеді, содан кейін шұғыл қалпына келтіруге кіріседі. Бұл әдіс белсенді механизмнен айырылған және желілік ақауларды жою кезінде көптеген кемшіліктерге ие.

Бұл мақалада талшықты-оптикалық байланыс саласындағы бірнеше түрлі тарату режимдерінің арасындағы айырмашылық сипатталған және талшықты-оптикалық тарату желісінің сенімділігі мен уақтылығын шектейтін байланысты факторлар талқыланады. Осы негізде бұл мақалада үлкен деректер технологиясы мен талшықты-оптикалық желіні біріктіру мүмкіндігі талданады, сонымен қатар талшықты-оптикалық желідегі үлкен деректер технологиясының типтік қосымшалары келтірілген, бұл өнімділікті бақылау және талшықты-оптикалық ақпарат беру желісінің жұмысына қызмет көрсету үшін ойлаудың жаңа бағытын қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: оптикалық желі, технология, ақпаратты беру, интеллектуалды жүйе, техникалық қызмет көрсету.

**M. Zh. Musagazhinov[1], A. D. Mekhtiev[2]*
[1,2]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana.
Material received on 20.06.23.

OVERVIEW OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEMS FOR THE TECHNICAL CONDITION OF THE FIBER OPTIC SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT THE GLOBAL TREND IN THE DEVELOPMENT OF TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

The traditional technology of network operation and maintenance consists in the fact that the administrator passively waits for a message about a network malfunction, and then proceeds to emergency recovery. This method lacks an active mechanism and has many disadvantages in eliminating network communication failures.

This article describes the difference between several different transmission modes in the field of fiber-optic communication and discusses the related factors that limit the reliability and timeliness of the fiber-optic transmission network. On this basis, this article analyzes the possibility of integrating big data technology and a fiber-optic network, and also lists typical applications of big data technology in a fiber-optic network, which provides a new direction of thinking for monitoring the performance and maintenance of the operation of a fiber-optic information transmission network.

Keywords: optical network, technologies, information transmission, intelligent system, maintenance.

FTAMP 44.01.11

https://doi.org/10.48081/YXEJ1412

***Р. М. Мустафина[1], Г. О. Мусекенова[2], Д. С. Уразалимова[3]**
[1,2,3]Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
*e-mail: mustafina.r@teachers.tou.edu.kz

2020–2021 ЖЫЛДАРЫНДАҒЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТРИЛЕММАНЫҢ ТАЛАПТАРЫН ҚАЗАҚСТАНДА ОРЫНДАЛУЫ

Мақалада 2020 және 2021 жылдары электр энергиясын адам санына тұтыну индикаторы бойынша индикативтік талдау әдісін қолдану кезінде Қазақстанның өңірлерінің электр энергетикалық қауіпсіздігінің жағдайы талданды және есептелді, ал бұл өз ретінде дүниежүзілік энергетикалық кеңестің үш бағытты (энергетикалық қауіпсіздік, энергияға әділ қол жеткізу, экологиялық тұрақтылық) қамтитын әлемдік энергетикалық трилеммасының екінші тармағының орындалуын бағалауға мүмкіндік берді. Энергияға әділ қол жеткізуді қамтамасыз ету-бұл әлеуметтік мәселе, оны шешу ел халқының өмір сүру сапасын арттырады. Талдамалық талдау жүргізу кезінде ҚР Ұлттық экономика министрлігі Статистика комитетінің және басқа да мемлекеттік органдардың 2020 және 2021 жылдардағы ресми статистикалық деректері пайдаланылды. Электр энергиясына әділ қол жеткізуді қамтамасыз ету бойынша электр энергетикасы қауіпсіздігінің қалыпты аймағында (электр энергиясын адам санына тұтыну индикаторы) еліміздің 8 өңірі бар. Жүргізілген электр энергетикалық қауіпсіздікті талдау мен есептеулер жаңа электр станцияларын іске қосу, қолданыстағыларын жаңғырту және қайта жөндеу қажеттігін растайды, бұл әлемдік энергетикалық Трилемманың үшінші тармағының орындалуын да қамтамасыз етеді (экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету). Табиғи газды қазба қатты отынның, баламалы және жаңартылатын энергия көздерінің орнына пайдалану парниктік газдардың атмосферага шығарылуын азайтады.

Кілтті сөздер: энергетикалық қауіпсіздік, энергияға қол жеткізу, экологиялық тұрақтылық, индикаторлар, трилемма.

Кіріспе

2010 жылдан бастап кез келген мемлекеттің энергетикалық саясатын және оның тиімділігін объективті және тәуелсіз бағалауды Дүниежүзілік энергетикалық кеңесімен трилемманың дүниежүзілік энергетикалық индексі бойынша жүргізеді [1]. Индекс келесі үш бағыт бойынша анықталады: энергетикалық қауіпсіздік (ЭнҚ), энергияға әділ қол жеткізу (ЭӘҚЖ), экологиялық тұрақтылық (ЭТ), олар елдің энергетикалық саясатының тиімділігінің 32 көрсеткіші бойынша бағаланады.

Мақалада 2020 және 2021 жылдардағы статистикалық деректер негізінде [2, 3, 4] энергетикалық трилемманың жоғарыда көрсетілген үш бағытының екеуі бойынша ҚР электр энергетикасы саласына бағалау жүргізілді, атап айтқанда: энергияға әділ қол жеткізу, экологиялық тұрақтылық болып келеді.

Материалдар мен әдістер

Қазақстан Республикасының электрэнергетика саласын дамытудың 2035 жылға дейінгі тұжырымдамасында электрэнергетикасын дамытудың мемлекеттік саясатының басым міндеттерінің бірі энергетикалық қауіпсіздік пен тәуелсіздікті қамтамасыз ету екендігі атап өтілген [5, 3 б.].

Электрэнергетикасы саласындағы мемлекеттік реттеу энергия тұтынушыларының сұранысын барынша қанағаттандыру және электр және жылу энергиясы нарығына қатысушылардың құқықтарын қорғау мақсатында жүзеге асырылады [5, 2 б.].

Электрэнергиясына әділ қолжетімділік деңгейін бағалау (ЭӘҚД) мақаласында келтірілген формулаларды пайдалану кезінде 1990 жылға қарағанда бір тұрғынға шаққандағы электрэнергиясын әрбір адам басына тұтыну индикаторы бойынша базалық пайызбен жүргізілді [6]. Есептеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген [4, 5 б.; 2, 3]. Бұл ретте 2020, 2021 жылдарға есептелген бір тұрғынға шаққанда тұтынылған электрэнергиясы есептелді (өңірде тұтынылған электрэнергиясының қарастырылып отырған жылы тиісті өңірдің халық санына қатынасы, 1-кестенің 2, 5-бағандары). 1990 жылға қатысты салыстырмалы бірліктердегі (%) есептеу нәтижелері 3, 6-бағандарда берілген. 1-кестенің 4, 7-бағандарында адам басы индикаторының күйін бағалау бар.

Қазақстан тұрғындары бастапқы энергияны (жылыту, электрэнергиясы, отын және т.б.) дүние жүзіндегі орташа деңгейден екі есе және Еуропалық Одақ елдеріндегіден әлдеқайда көп тұтынады. Бұл көрсеткіш ТМД елдеріндегі ең жоғары көрсеткіштердің бірі болып келеді [7]. Осылайша, энергетикалық трилемманың екінші принципін – энергияға әділ қол жеткізуді жүзеге асырудың барлық шарттары бар. Бірақ бастапқы энергияны көп тұтыну ел экономикасының энергия шығынын көбірек көрсетеді.

Қазақстан Республикасының электр энергетикасы саласын дамытудың 2035 жылға дейінгі тұжырымдамасында ел экономикасын дамыту үшін стратегиялық маңызды міндет экологиялық тұрақтылыққа қол жеткізу жөніндегі, оның ішінде көмір станцияларын газға ауыстыру есебінен мақсаттарды кезең-кезеңмен орындау болып табылатыны көрсетілген [5, 3 б.].

Кесте 1 – Адам басындағы тұтыну индикаторы бойынша ЭнҚ деңгейін бағалау

Аумақтың аталуы	Электрэнергиясын адам басына тұтыну индикаторы					
	2020 ж. мың Вт* сағ/адам	2020 ж. %	Баға 2020 ж.	2021 ж. мың Вт* сағ/адам	2021 ж. %	Баға 2021 ж.
1	2	3	4	5	6	7
Қазақстан	4,65	72,43	ДАД	4,91	76,48	ДАД
Ақмола облысы	3,84	61,94	ДАД	4,28	69,03	ДАД
Ақтөбе облысы	6,13	123,05	ҚД	6,30	132,63	ҚД
Алматы облысы	2,26	78,75	ДАД	2,47	86,06	ҚД
Атырау облысы	7,93	264,33	ҚД	8,23	274,33	ҚД
ШҚО	5,49	86,32	ҚД	5,69	89,47	ҚД
Жамбыл облысы	3,53	40,90	ТҚДЖ	3,83	44,38	ТҚДЖ
БҚО	2,75	102,23	ҚД	3,15	117,10	ҚД
Қарағанды облысы	10,91	97,58	ҚД	11,31	101,16	ҚД
Қостанай облысы	4,29	57,43	К	4,54	60,78	А
Қызылорда облысы	1,72	96,09	ҚД	1,93	107,82	ҚД
Маңғыстау облысы	5,82	35,68	ТҚДЖ	5,97	36,60	ТҚДЖ
Павлодар облысы	22,51	138,10	ҚД	23,91	146,69	ҚД
СҚО	2,43	72,32	ДАД	2,59	77,08	ДАД
Түркістан облысы	1,36	29,57	ДАД	1,50	32,61	ТҚДЖ

Қазақстан 1970–2018 жылдар кезеңінде булық газдар (БГ) шығарындыларының жалпы көлемі бойынша 20 елдің тобына кіреді.

БГ шығарындыларының негізгі бөлігі елдің энергетика саласына тиесілі (2020 жылы 74,7 %); бұл ретте базалық 1990 жылға қатысты 14,0 %-ға, 2019 жылға қатысты – 7,2 %-ға төмендеуі. Сарапшылар пандемия кезінде енгізілген шектеулермен өткен жылмен салыстырғанда 2020 жылы БГ шығарындыларының азаюын түсіндіреді [8].

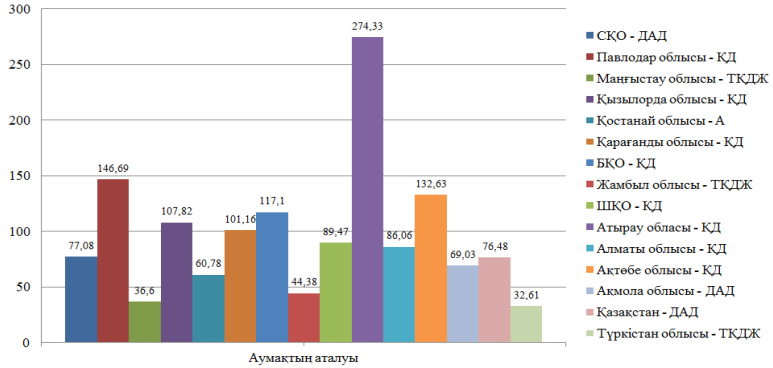
Нәтижелер және талқылау

Электрэнергиясын адам басына тұтыну индикаторының шекті деңгейі (электрэнергиясына әділ қол жеткізу) қалыпты жағдайда 80 %-дан жоғары, дағдарыс алдындағы жағдай үшін 80 %-дан 65 %-ға дейін, дағдарыс жағдайы үшін – 65 %-дан 50 %-ға дейін; 50 %-дан төмен-қауіпті дағдарыстық жағдай.

2020 жылы электрэнергиясына әділ қол жеткізу Ақтөбе, Атырау, Шығыс Қазақстан, Батыс Қазақстан, Қарағанды, Қызылорда, Павлодар облыстарында қамтамассыз етілді, онда электр энергиясын адам басына тұтыну индикаторының қалыпты деңгейі (ҚД) анықталды (1-кесте). 2021 жылы ЭӘҚЖ Алматы облысында да қамтамасыз етілді. ЭӘҚЖ бойынша энергетикалық трилемма талабтары Жамбыл (ТҚДЖ), Қостанай (К), Маңғыстау (ТҚДЖ) және Түркістан (ТҚДЖ) өңірлерінде 2020-2021 жылдары ғана емес, бұрын да орындалмады [9].

Дағдарыс алдындағы жағдайда ҚР, Ақмола және Солтүстік Қазақстан облыстарында электрэнергиясын адам басына тұтыну индикаторы бар.

1-суретте 2021 жылы электр энергиясына әділ қол жеткізуді қамтамасыз етуді сипаттайтын диаграмма берілген.



Сурет 1 – 2021 жылы энергияға әділ қол жетімділікті бағалау

Қорытындылар

1-суреттегі деректерден 8 өңірде энергияға әділ қолжетімділік қамтамасыз етілгені байқалады, екі өңірде бұл индикатор қалыпты көрсеткішке жақындағаны шығады. Алдыңғы зерттеулер көрсеткендей, электрэнергиясын адам басына тұтыну индикаторы бойынша қолайсыз жағдай Жамбыл, Қостанай, Маңғыстау және Түркістан облыстарында бірнеше жыл бойы қайталанады [6, 9]. Сондықтан ел экономикасын дамыту үшін стратегиялық өзекті және маңызды мәселе ол жаңаларын уақтылы енгізу, жұмыс істеп тұрған электр станциялары мен электр желілерін қайта өндіру және жаңғырту болып табылады [5, 3 б.].

Экономиканың энергетикалық секторында БГ шығарындыларын қысқарту үшін ғимараттарда, көлікте және өнеркәсіпте энергияны пайдалану тиімділігін және беру-тарату буындарында энергия тиімділігін арттыру жөнінде шаралар қабылдау қажет. Электр және жылу энергиясын өндіруде

қазбалы қатты отынның, баламалы және жаңартылатын энергия көздерінің орнына табиғи газды пайдалану аясын кеңейту қажет [8].

Дүниежүзілік энергетикалық кеңесімен әлемдік энергетикалық трилемма индексі бойынша жыл сайын рейтинг өткізеді (мемлекеттің энергетикалық саясатын бағалаудың 32 көрсеткіші бойынша). 2020 жылы бойынша жылдың қорытындысы бойынша Қазақстан осы рейтингке қатысқан әлемнің 125 елінің арасында 42-ші орында, 2019 жылы – 59-шы орында болды [10]. Осылайша, әлемдік рейтингтегі оң өзгерістер мемлекеттің ойластырылған және жеткілікті тиімді энергетикалық саясатын көрсетеді.

Пайдаланған деректер тізімі

1 Материалы XIV Евразийского форума KazEnergy [Электронды ресурс]. – https://eenergy.media/2021/10/07/balans-komponentov-navigatsiya-izmenenij-po-energeticheskim-regionam/.

2 Население Казахстана выросло в 2020 году [Электронды ресурс]. – https://kz.kursiv.media/2020-04-06/naselenie-kazakhstana-vyroslo-v-2020-godu/.

3 Названа численность населения Казахстана [Электронды ресурс]. – https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/nazvana-chislennost-naseleniya-kazahstana-439420/.

4 Отчет «Анализ рынка электроэнергии и угля Казахстана. Январь-октябрь 2021 года». Департамент «Развитие рынка». – Ноябрь, 2021. – С. 4; с. 5. [Электронды ресурс]. – https://www.samruk-energy.kz/ru/press-center/analytical-review#2021.

5 Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года от 26 сентября 2022 года. (Министерство энергетики РК) – 71 с. [Электронды ресурс]. – 2185d071a18197ff496dd0d00eba4866_original.379086.

6 **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.

7 https://news.mail.ru/economics/53882799/ [Электронды ресурс].

8 https://economy.kz/ru/Novosti_instituta/id=4512 [Электронды ресурс].

9 **Мустафина, Р. М., Сарсикеев, Е. Ж. , Мусекенова, Г. О.** Қазақстан өңірлерінің 2018 жылдағы электр энергетикалық қауіпсіздігінің жағдайы / Р. М. Мустафина, Е. Ж. Сарсикеев, Г. О. Мусекенова // Вестник Торайгыров Университета. Серия энергетическая. – № 3. – 2020. – С. 247–256.

10 https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf [Электронды ресурс].

References

1 Materialy` XIV Evrazijskogo foruma KazEnergy [Materials of the XIV Eurasian Forum KazEnergy] [Electronic resource]. – https://eenergy.media/2021/10/07/balans-komponentov-navigatsiya-izmenenij-po-energeticheskim-regionam/.

2 Naselenie Kazaxstana vy`roslo v 2020 godu. [The population of Kazakhstan grew in 2020] [Electronic resource]. – https://kz.kursiv.media/2020-04-06/naselenie-kazakhstana-vyroslo-v-2020-godu/.

3 Nazvana chislennost` naseleniya Kazaxstana. [The number of the ‘ population of Kazakhstan ‘ is named] [Electronic resource]. – https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/nazvana-chislennost-naseleniya-kazahstana-439420/.

4 Otchet «Analiz ry`nka e`lektroe`nergii i uglya Kazaxstana. Yanvar`-oktyabr` 2021 goda». Departament «Razvitie ry`nka» [Report “Analysis of the electricity and coal market of Kazakhstan. January-October 2021”. Department “Market Development”]. – November, 2021. – P. 4–5 [Electronic resource]. – https://www.samruk-energy.kz/ru/press-center/analytical-review#2021.

5 Koncepciya razvitiya e`lektroe`nergeticheskoj otrasli Respubliki Kazaxstan do 2035 goda ot 26 sentyabrya 2022 goda [The concept of development of the electric power industry of the Republic of Kazakhstan until 2035 dated September 26, 2022] [(Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan)]. – 71 p. [Electronic resource]. – 2185d071a18197ff496dd0d00eba4866_original.379086.

6 **Mustafina, R. M., Mustafina, G. M., Tanat, A. X.** Issledovanie e`lektroe`nergeticheskoj bezopasnosti regionov Kazaxstana metodom indikativnogo analiza [Investigation of the electrical safety of the regions of Kazakhstan by the method of indicative analysis] / R. M. Mustafina, G. M. Mustafina, A. H. Tanat // Bulletin of PSU. Energy series. – No. 2. – 2008. – P. 33–47.

7 https://news.mail.ru/economics/53882799/ [Electronic resource].

8 https://economy.kz/ru/Novosti_instituta/id=4512 [Electronic resource].

9 **Mustafina, R. M., Sarsikeev, E. Zh., Musekenova, G. O.** Қазақстан өңірлерінің 2018 zhy`ldarы` e`lektr e`nergetikaly`қ қauipsizdiginiң zharдajy` [State of electric energy security of the regions of Kazakhstan for 2018] / R. M. Mustafina, E. Zh. Sarsikeev, G. O. Musekenova // Bulletin of Toraighyrov University. Energy series. – No. 3. – 2020. – P. 247–256.

10 https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf [Electronic resource].

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

**Р. М. Мустафина[1], Г. О. Мусекенова[2], Д. С. Уразалимова[3]*
[1,2,3]Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

ВЫПОЛНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТРИЛЕММЫ В КАЗАХСТАНЕ В 2020–2021 ГОДАХ

В статье проанализировано и рассчитано состояние электроэнергетической безопасности регионов Казахстана при применении метода индикативного анализа в 2020 и 2021 годах по индикатору душевого потребления электрической энергии, что позволило оценить выполнение второго пункта Мировой Энергетической Трилеммы Всемирного энергетического совета, которая включает три направления (энергетическая безопасность, справедливый доступ к энергии, экологическая устойчивость). Обеспечение справедливого доступа к энергии – это и социальный вопрос, решение которого повысит качество жизни населения страны. При проведении аналитического анализа были использованы официальные статистические данные Комитета статистики Министерства национальной экономики РК и других государственных органов за 2020 и 2021 годы. В нормальной зоне электроэнергетической безопасности по обеспечению справедливого доступа к электрической энергии (индикатор душевого потребления электроэнергии) находятся 8 регионов страны. Проведенные анализ и расчеты электроэнергетической безопасности подтверждают необходимость ввода новых электростанций, модернизацию и реконструкцию действующих, что обеспечит также и выполнение третьего пункта Мировой Энергетической Трилеммы (обеспечение экологической устойчивости). Использование природного газа вместо ископаемого твердого топлива, альтернативных и возобновляемых источников энергии позволит сократить выброс парниковых газов в атмосферу.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, доступ к энергии, экологическая устойчивость, индикаторы, трилемма.

**R. M. Mustafina[1], G. O. Mussekenova[2], D. S. Urazalimova[3]*
[1,2,3]Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 20.06.23.

MEETING THE REQUIREMENTS OF THE ENERGY TRILEMMA IN KAZAKHSTAN IN 2020– 2021

The article analyzes and calculates the state of the electric power security of the regions of Kazakhstan when using the method of indicative analysis in 2020 and 2021 according to the indicator of per capita consumption of electric energy, which made it possible to assess the implementation of the second point of the World Energy Trilemma of the World Energy Council, which includes three areas (energy security, fair access to energy, environmental sustainability). Ensuring equitable access to energy is also a social issue, the solution of which will improve the quality of life of the country's population. During the analytical analysis, official statistical data of the Statistics Committee of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan and other state bodies for 2020 and 2021 were used. There are 8 regions of the country in the normal zone of electric power security to ensure fair access to electric energy (indicator of per capita electricity consumption). The analysis and calculations of electric power safety confirm the need to introduce new power plants, modernize and reconstruct existing ones, which will also ensure the fulfillment of the third point of the World Energy Trilemma (ensuring environmental sustainability). The use of natural gas instead of fossil solid fuels, alternative and renewable energy sources will reduce the emission of greenhouse gases into the atmosphere.

Keywords: energy security, access to energy, environmental sustainability, indicators.

FTAMP 20.15.31

https://doi.org/10.48081/BPNX1939

***Ж. С. Муталова[1], А. Х. Қасымова[2], Р. З. Сулейменова[3], Г. А. Абдыгаликова[4], Г. О. Исакова[5]**

[1,2] Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Орал қ.;

[3,4,5] С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

*e-mail : kasimova_ah@mail.ru

АШЫҚ КОДТЫ DSPACE, KOHA ЖӘНЕ EVERGREEN КІТАПХАНА ЖҮЙЕЛЕРІНЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Мақалада кітапхана өндірісіне арналған ашық бастапқы кодты біріктірілген кітапханаларды басқару жүйелері (Integrated management library system – ILMS) қарастырылды. Зерттеудің негізгі объектілері ретінде DSpace, Koha және EPrints жүйелері таңдалынып алынып, осы жүйелердің негізгі функционалдық мүмкіндіктеріне салыстырмалы талдау жасалды. Жұмыс барысында Scopus, Web of Science, ResearchGate тәрізді халықаралық деректер қорларындағы отандық және шетел зерттеушілерінің осы бағыттағы ғылыми еңбектері зерттеліп, аталған жүйелерінің ресми сайттары, техникалық нұсқаулықтары қолданылды. Сонымен қатар, DSpace, Koha және Eprints ашық кодты кітапханалық жүйелерінің мүмкіндіктері тәжірибе жүзінде зерттеліп, интерфейс, каталогтау және іздеу парақшаларына қысқаша шолу жасалды және архитектуралары, метадеректері және қолдайтын файл пішімдері сипатталды.

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде, DSpace, Koha және EPrints ашық кодты кітапхана жүйелерінің үшеуі де веб интерфейсті, кроссплатформалы және автоматтандырылған кітапхананы қолдайтыны анықталып, осы жүйелердің артықшылықтары және кемшіліктері айқындалды.

Зерттеуде жүргізілген салыстырмалы талдау кітапханашыларға кітапхана үшін ашық бастапқы бағдарламалық қамтамасыз етуді таңдау кезінде қажетті шешім қабылдауға көмектесетінін

және осы шешімнің жылына өте үлкен мөлшердегі қаражатты үнемдеуге мүмкіндік беретінін атап өтуге болады.

Кілтті сөздер. DSpace, сандық кітапхана, Koha, институционалдық репозиторий, Evergreen, ILMS, ашық кодты жүйелер.

Кіріспе

Қазіргі жаһандық цифрландыру дәуірінде көптеген ғылыми және оқу материалдарының басым көпшілігі электрондық нұсқада құрылуда. Әдетте, белгілі бір ұйымның ішкі бөлімінде жасалған мақалалар, есептер, тәжірибелік және медиадеректер бөлімнің жергілікті қатты дискісінде немесе веб-серверінде сақталады. Мұндай мәліметтер көп жағдайда сол ұйымның қайта құрылымдану кезінде жоғалып қалып жатады [1]. Мұның бәрі электрондық кітапхана жүйелерін құрудың маңыздылығын түсіндіреді. Кітапхана өндірісі үшін ашық кодты бағдарламалық қамтаманың көптеген түрлері бар, олардың ең танымалдар түрлері 1 суретте жіктелген [2].

Сурет 1 – Кітапхана өндірісіне арналған ашық кодты бағдарламалық қамтама түрлері

Осы орайда, ашық кодты кітапхана жүйелері Қазақстанның университеттері мен кітапханаларында да қолданылып келе жатқанын атап өтуге болады. Мысалы, соңғы жылдары институционалдық репозиторийлерді басқару үшін, DSpace жүйесі Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ғылыми кітапханасында, Назарбаев университетінің кітапханасында, Әл. Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінде және Қарағанды мемлекеттік техникалық университетінде қолданыс тапқан.

Жұмыстың мақсаты – DSpace, Koha, EPrints ашық кодты бағдарламалық қамтамаларының функционалдық мүмкіндіктеріне салыстырмалы талдау жасау.

Ғылыми өзектілігі электрондық ресурстарды қалыптастыру мен пайдалануда ақпараттық-кітапхана мекемелерінде ашық жүйелерді қолдану бойынша әдістемелік нұсқауларды әзірлеу және талдау нәтижелерімен сипатталады.

Материалдар мен әдістер

Қарастырылған бағдарламалық құралдарына салыстырмалы талдау жасау үшін, аталған тақырып бойынша Scopus, Web of Science, ResearchGate халықаралық деректер қорларының материалдары талданып, Koha, Evergreen, DSpace жүйелерінің ресми сайттары, техникалық нұсқаулықтар қолданылды. Сонымен қатар, талдау, салыстыру, модельдеу және бағдарламалық жасақтама үлгілерімен тәжірибелік жұмыс тәрізді әдістер қолданылды.

Әдеби шолу

А. К. Дастың [3] еңбегінде ашық кодты DSpace, GSDL и EPrints кітапханаларына салыстырмалы талдау жасалып, нәтижесінде бүгінгі күнде сандық кітапхана қамтамаларына кейбір функциялардың жетіспейтінін анықтаған. Осы үш кітапханалық қамтамалардың ішінде DSpace және GSDL жүйелері пайдаланушылардың қажеттіліктерін жақсы қамтамасыз ететіні байқалған. Sahu және Kadaria авторларының [4] мақаласында ашық бастапқы кодты электронды кітапханалардың бағдарламалық қамтамасын таңдау шарттары талданған. Аталған зерттеуде ашық кодты бағдарламалық камтамалардың бағалауы жеке меншік бағдарламалық қамтамалардан ерекшеленетіні айтылған. [5]–[8] мақалаларында Dspace платформасының өте қуатты қамтама екені атап өтілген. M. Singh және G. Sanaman авторларының [9] еңбегінде Koha және New GenLib жүйелерінің сандық тезистерге қол жетімділік, бейне, аудио, кескін және zip пішімдегі файлдарды қолдай алатын мүмкіндіктерін қарастырған.

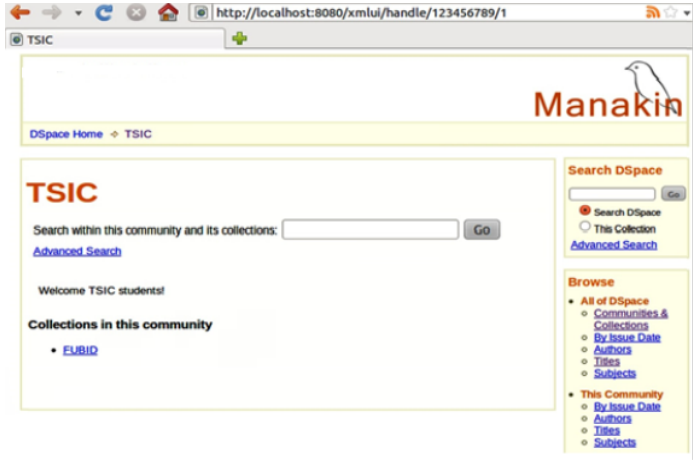
Төмендегі ашық кодты біріктірілген кітапханаларды басқару жүйелердің мүмкіндіктерін қарастырайық.

DSpace: Бұл цифрлық деректерді қамтуға, сақтауға, индекстеуге және таратуға мүмкіндік беретін ашық бастапқы репозиторий бағдарламалық қамтамасы. DSpace бағдарламасының алғашқы нұсқасы MIT және HP Labs әзірлеушілерінің бірігуімен 2002 жылдың қарашасында шығарылған [10].

Dspace ашық кодты кітапхана жүйесі негізінен Linux платформасында жұмыс істейді, алайда Java кросс-платформалық технологиясының көмегімен Windows жүйесінде де жұмыс істеу мүмдіндігі болады. DSpace жүйесін орнату үшін, Apache Tomcat веб-сервері немесе баламасы, PostgreSQL немесе Oracle дерекқор серверлері, Java бағдарламалау тілінің Apache Ant. кітапханасы қажет.

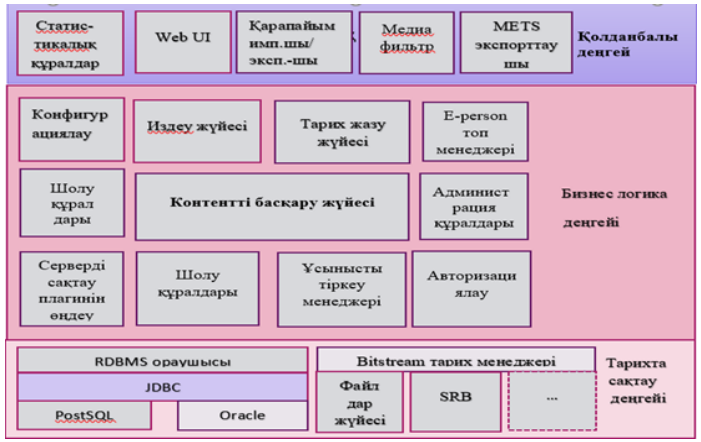
Файл пішімдері. DSpace қамтамасы үнсіздік бойынша, Qualified Dublin Core метадеректерін қолдайды және OAI_DC, DIDL, DIM, ETDMS, METS, MODS, OAI-ORE, RDF, MARC, UKETD_DC және XOAI пішіндеріне экспорттай алады [10].

Архитектурасы. DSpace жүйесі үш деңгейлі ұйымдастырылған, олардың әрқайсысы бірнеше құрамдас бөліктен тұратын архитектура ие (3 сурет).



Сурет 2 – DSpace репозиторийінде құжатты сипаттау беті

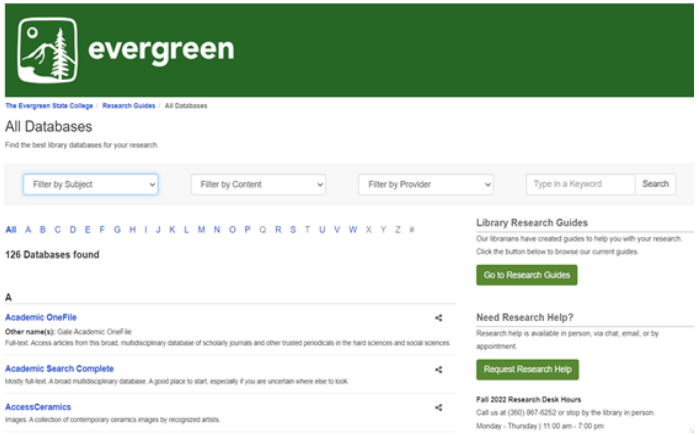
Төмендегі суретте DSpace жүйесінің архитектурасы бейнеленген.



Сурет 3 – DSpace кітапханалық жүйесінің архитектурасы

Іздеу жүйесі. Жүйе кітапханада жоғары өнімділікті, толық функционалды мәтінді кроссплатформалық іздеуді қамтамасыз етеді. Іздеу жүйесі танымал және қуатты ашық бастапқы Lucene сұраныс синтаксисі негізінде жасалған.

Evergreen: Evergreen – бұл штаттың ұжымдық каталогына арналып, Джорджия Public Library Service әзірлеген ашық бастапқы біріктірілген кітапхана жүйесі [11]. Бағдарламалық жасақтама желіде 2006 жылдың 5 қыркүйегінде орналастырылды.



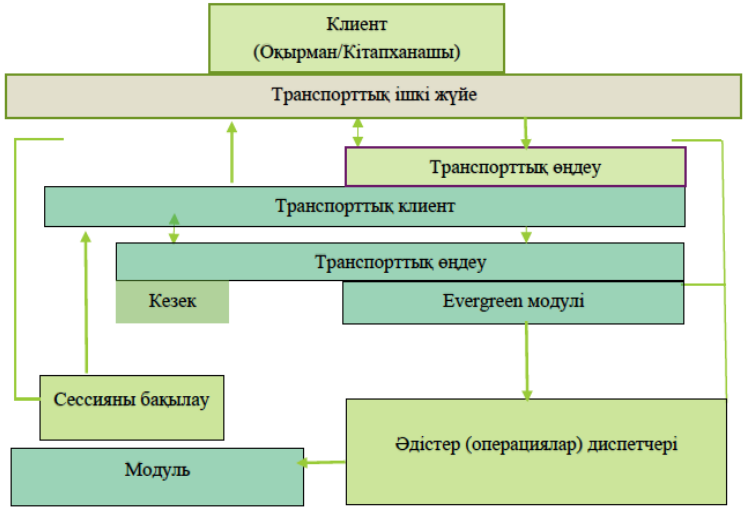
Сурет 4 – Кітапханашыларға арналған Evergreen веб интерфейсі

Evergreen Linux операциялық жүйесі жұмыс істейтін серверде орнатылады. Оның архитектурасы PostgreSQL деректер базасына негізделіп, Perl, Python, Ruby және C тілдернде жазылған. Бүгінгі күні әлемде 2000-нан астам кітапхана осы бағдарламалық құралды пайдаланады.

Файл пішімдері. Evergreen кітапханалық жүйесі үнсіздік бойынша MARC21 форматында жұмыс істейді, ал жазбаларды экспорттауға MARC21, Atom Syndication Format, Dublin Core, CSDGM (FGDC), MODS, OAI, RSS файл пішімдерін қолдайды [11].

Архитектурасы. Evergreen ашық кодты кітапхана жүйесі ірі кітапханалық жүйелердің немесе консорциумдардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін әзірленген. Сонымен қатар, жүйе масштабын кішірек кітапханалар үшін де ықшамдауға болады. Сондықтан, бұл жүйе компьютерлік сервер жүктемесін теңестіру, жеке ішкі жүйелердің ауысуы, таратылған дерекқорлар, көшіру тәрізді кластерлік жүйелердің типтік қасиеттерін қолдауға арналған.

Іздеу жүйесі. Evergreen кітапханалық жүйесінде құжатты аты, тақырыбы, авторы, ISSN номері, тіркелген уақыты, контент бойынша, кілттік сөздер және т.б. бойынша іздеп табуға болады [12].



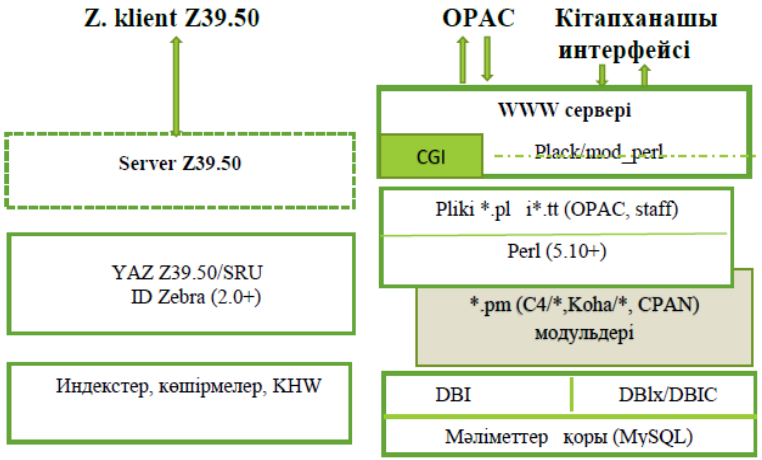
Сурет 5 – Evergreen жүйесі жұмысының жалпы схемасы

Koha: Koha – бұл бүкіл әлемде қоғамдық кітапханалар, арнайы кітапханалар және оқу орындары қолданатын веб-негізделген ашық бастапқы біріктірілген кітапхана жүйесі болып табылады [12]. Бұл жүйені 1999 жылы Kaptio Communications компаниясы Жаңа Зеландияның Хорухенуа кітапханасы үшін әзірленген.

Серверлік бөлігі Perl тілінде жазылған және Apache веб-серверін, MySQL дерекқор серверін және қосымша Perl модульдерін қажет етеді. Негізінен Koha Linux платформасында қолданылады, дегенмен дұрыс конфигурациялау жүргізген жағдайда, Windows ортасында жұмыс істеуі мүмкінкіндігі бар.

Файл пішімдері. Каталог деректері MARC пішімінде сақталады және Z39.50 серверлері арқылы қол жетімді. Библиографиялық жазбалар MARCXML, DublinCore, MODS, RSS, Atom, RDF-DC, SRW-DC, OAI пішімдерінде экспорттала алады [12].

Архитектурасы: Koha классикалық екі деңгейлі архитектураға негізделген, мұнда клиенттік компьютер ешқандай делдалдық қолданбасыз серверге тікелей қосылады.



Сурет 6 – Koha жүйесінің архитектурасы

Іздеу жүйесі. Koha жүйесінде тұтынушыларға іздеу шарттарын, элемент түрлерін, сөре орындарын, жарияланған күнін, қолжетімділігін, орналасқан жерін және т.б. пайдаланып кеңейтілген іздеу жасауға мүмкіндік береді [12].

Нәтижелер және талқылаулар

Жоғарыда келтірілген сипаттамалар негізінде DSpace, Koha және Evergreen ашық кодты кітапхана жүйелерінің салыстырмалы талдау кестесі құрылды [1]:

Кесте 1 – DSpace, Koha және Evergreen ашық кодты кітапхана жүйелеріне салыстырмалы талдау

Ашық кодты бағдарламалық камтаманың мүмкіндіктері	Dspace	Koha	Evergreen
Құрылу жылы	Қараша, 2002	3 қаңтар, 2000	Қыркүйек, 2006, АҚШ
Құрушы	Hewlett-Packard, Массачусетс техникалық университетінің кітапханасы	Koha бірлестігі, Жаңа Зеландия	Джорджия қоғамдық кітапхана қызметі, АҚШ
Соңғы версиясы	27 маусым, 2018	30 мамыр 2019	Қараша, 2022
Түрі	Желіде таратылған	Біріктірілген	Біріктірілген
Лицензия түрі	BSD	GNU	GNU(GPL)

Операциялық жүйесі	Кроссплатформа-лық	Кроссплатформа-лық	Кроссплатформа-лық
Жазылған тілі	Java	Perl	Perl, C, JavaScript және XHTML
Серверлік талаптар	JDK, Apache (Ma-ven, Ant, Tom cat), СУБД Postgre SQL немесе Oracle	Perl модульдері, Apache, MySQL 5	Linux, PostgreSQL
Мәліметтер қоры	Oracle, PostgreSQL	MySQL, MariaDB	PostgreSQL
Веб сервер	Apache, Tomcat	Apache	Apache
Қолдау көрсетілетін файл пішімдері	txt, pdf, doc, ppt, jpeg, tiff, gif, mp3, avi, marc және т.б.	doc, pdf, html, ppt, jpeg, gif, avi, MP3, MARC21, т.б.	Pdf, html, jpeg, tiff, MP3 and AVI
Операциялық жүйесі	Unix, Linux, Windows, Debian	Linux	Linux
Іздеу параметрлері	Автор, аты, тақы-рып және коллек-ция бойынша	Барлық қол жетімді іздеу индекстері бойынша	Барлық қол жетімді іздеу индекстері б-ша
Арнайы сайты	http://www.dspace	http://koha-community	https://evergreen-ils

Аталған ашық кодты кітапхана жүйелерінің құрылысын, функционалдық мүмкіндіктерін салыстыра отырып, келесі тұжырымдарды айқындай аламыз:

Dspace, Evergreen, Koha - электронды репозиторийлер құруға арналған толық фукционалдылықты қамтитын бір класқа жататын жүйесі болып табылады. Бұл жүйелердің негізгі айырмашылығы – деректер моделінің құрылымында.

2 Koha жүйесі негізінен Linux операциялық жүйесімен жұмыс істейді. Теориялық тұрғыдан ол Windows жүйесінде де жұмыс істей алады, дегенмен, ол үшін біршама күрделі модульдерді орнатуды және дұрыстап баптауды қажет етеді.

3 Аталған жүйелерден Koha жүйесінің бір ерекшелігі – бұл жүйе тек веб-интерфейске ие.

4 DSpace және Koha жүйелері танымал файл типтерінің басым көпшілігін қолдайды, ал Evergreen жүйесінің мүмкіндігі сәл шектеулі. Жалпы, үш жүйеде де аудио, мәтін және видео файлдарды қолдау мүмкіндіктері бар.

5 DSpace жүйесі BSD лицензиясымен, ал Koha және Evergreen жүйелері GNU лицензияларымен жұмыс жасайды.

6 DSpace, Koha және Evergreen жүйелерінде барлық қол жетімді іздеу параметрлері арқылы жасауға болады.

7 DSpace және Evergreen жүйелері кез-келген заманауи веб-браузерде жұмыс істей алады, ал Koha жүйесі CSS 2.0 тілін қолдайтын веб-браузерді талап етеді.

Қорытынды

Ақпараттық-кітапханалық қызмет көрсетуді жақсарту үшін кітапхана қызметінде анық меншікті электрондық ресурстардың алатын орны зор. Осы орайда, ашық кодты бастапқы кодты біріктірілген кітапхана басқару жүйелерін ерекше атауға болады. Мақалада талқыланған Koha, DSpace, Evergreen кітапханалық бағдарлама жасақтамаларының архитектуралары мен функционалдық мүмкіндіктеріне салыстырмалы талдау жасалған.

Зерттеу нәтижесінде, аталған ашық кодты кітапханалық жүйелері тұтынушыларға ұсынатын қызметтері бойынша аз ғана ерекшеленетінін және үш жүйенің де сандық кітапханалардың қойылатын барлық талаптарын қанағаттандыратыны анықталды. Жалпы алғанда, ашық кодты біріктірілген кітапхана жүйелеріне көшудегі бастапқы қиындықтар мұндай жүйелердің техникалық және экономикалық артықшылықтарымен толық өтеледі.

Қорытындылай келе, біріктірілген ашық кодты ILMS жүйелерінің ішіндегі ең танымал және функционалдық мүмкіндіктері салыстырмалы түрде біршама жоғары ауқымды жүйе ретінде DSpace жүйесін ерекшелеп өтуге болады.

Бұл жұмыста келтірілген жүйелерінің салыстырмалы талдауы өз мекемесі үшін электронды кітапхана жүйесін таңдайтын мамандарға да, осындай бағдарламалық қамтаманы дамыту мақсатында оны әзірлеушілерге де пайдалы болады.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Кудим, К. А., Проскудина, Г. Ю., Резниченко, В. А.** Сравнительный анализ функциональных возможностей систем электронных библиотек // Проблемы программирования. – 2007. – № 4. – С. 32–49.

2 **Кудим, К. А., Проскурина, Г. Ю., Резниченко, В. А.** Создание научных электронных библиотек с помощью системы DSpace // Проблемы программирования. – 2007. – № 3. – С. 49–60.

3 **Randhawa, S.** Open Source Software for Creation of Digital Library : A Comparative Study of Greenstone Digital Library Software & DSpace // Indian Journal of Library and Information Science. – 2012. – № 3. – P. 45–52.

4 **Das, A. K.** Comparing Open S5ource Digital Library Software : Special Reference to DSpace, EPrint, and Greenstone // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2015. – № 5. – P. 70–73.

5 **Sahu, R. R., Karadia, A.** Comparative study of an open source digital library software : Dspace, Greenstone and Eprint // International Journal of Computer Applications. 2012. – № 59. – P. 3–14.

6 **Patil, M. S., Kanamad, S.** Digital library open source software : A comparative study. – 2017. – №5. – P. 3–18.

7 **Lakshmi, V., Nishant, K.** Comparative Analysis of Open Source Digital Library Softwares : A Case Study // Journal of Library & Information Technology. – № 5. – 2018. – P. 361–368.

8 http://dspace.org/ [Электронды ресурс].

9 **Singh, M., Sanaman, G.** Open source integrated library management systems : Comparative analysis of Koha and New GenLib // The Electronic Library. – 2012. – № 6. – P. 809–832.

10 **Seliske, L., Pickett, W., Bates, R., Janssen, I.** Field Validation of Food Service Listings : A Comparison of Commercial and Online Geographic Information System Databases // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2012. – № 9. – P. 2601–2607.

References

1 **Kudim, K. A., Proskudina, G. Yu., Reznichenko, V. A.** Sravnitelnyj analiz funkcionalnyh vozmozhnostej sistem elektronnyh bibliotek [Creation of scientific electronic libraries using the DSpace system] // Problemy programmirovaniya – 2007. – № 4. – P. 32–49.

2 **Kudim, K. A., Proskudina, G. Yu., Reznichenko, V. A.** Sozdanie nauchnyh elektronnyh bibliotek s pomoshyu sistemy Dspace [Comparative analysis of the functionality of digital library systems] // Problemy programmirovaniya. – 2007. – № 3. – P. 49–60.

3 **Randhawa, S.** Open Source Software for Creation of Digital Library : A Comparative Study of Greenstone Digital Library Software & DSpace // Indian Journal of Library and Information Science. – 2012. – V. 3. – № 6. – P. 45–52.

4 **Das, A. K.** Comparing Open S5ource Digital Library Software : Special Reference to DSpace, EPrint, and Greenstone // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2015. – № 5. – P. 70–73.

5 **Sahu, R. R., Karadia, A.** Comparative study of an open source digital library software : Dspace, Greenstone and Eprint // International Journal of Computer Applications. – 2012. – № 59. – P. 3–14.

6 **Patil, M. S., Kanamad, S.** Digital library open source software : A comparative study. – 2017. – № 5. – P. 3–18.

7 **Lakshmi, V., Nishant K.** Comparative Analysis of Open Source Digital Library Softwares: A Case Study // Journal of Library & Information Technology. – № 5. – 2018. – P. 361–368.

8 http://dspace.org [Electronic resource].

9 **Singh, M., Sanaman, G.** Open source integrated library management systems: Comparative analysis of Koha and New GenLib // The Electronic Library. – 2012. – № 6. – P. 809–832.

10 **Seliske, L., Pickett, W., Bates, R., Janssen, I.** Field Validation of Food Service Listings: A Comparison of Commercial and Online Geographic Information System Databases // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2012. – № 9. – P. 2601–2607.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

Ж. С. Муталова[1], А. Х. Қасымова[2], Р. З. Сулейменова[3], Г. А. Абдыгаликова[4], Г. О. Исакова[5]
[1,2]Западно-Казахстанский Казахский агротехнический университет имени Жангир хана, Республика Казахстан, г. Уральск;
[3,4,5]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИБЛИОТЕЧНЫХ СИСТЕМ С ОТКРЫТЫМ КОДОМ DSPACE, KOHA И EVERGREEN

В статье рассмотрены интегрированные системы управления библиотеками с открытым исходным кодом (Integrated management library system – ILMS). В качестве основных объектов исследования были выбраны системы DSpace, Koha и EPrints, проведен сравнительный анализ основных функциональных возможностей этих систем.

В ходе работы были изучены научные труды отечественных и зарубежных исследователей в международных базах данных, таких как Scopus, Web of Science, ResearchGate, использованы технические руководства и официальные сайты данных систем.

На практике был проведен краткий обзор интерфейсов данных систем, страницы поиска и каталогизации, описаны архитектуры, метаданные и форматы файлов. В результате проведенного исследования было обнаружено, что библиотечные системы с открытым исходным кодом DSpace, Koha и EPrints поддерживают веб-интерфейс, кроссплатформенную и автоматизированную библиотеку, а также выявлены преимущества и недостатки этих систем. Проведенный сравнительный анализ поможет библиотекарям принять необходимое решение при выборе программного обеспечения с открытым исходным кодом для библиотек, а также данное решение позволит сэкономить огромное количество средств ежегодно.

Ключевые слова. DSpace, цифровая библиотека, Koha, институциональный репозиторий, Evergreen, ILMS, системы с открытым исходным кодом.

**Zh. Mutalova[1], A. Kasymova[2], R. Suleimenova[3], G. Abdygalikova[4], G. Issakova[5]*
[1,2] Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University, Republic of Kazakhstan, Uralsk;
[3,4,5]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, Astana.
Material received on 20.06.23.

COMPARATIVE ANALYSIS OF OPEN SOURCE LIBRARY SYSTEMS DSPACE, KOHA AND EVERGREEN

The article deals with integrated open-source library management systems (Integrated management library system-ILMS). DSpace, Koha and EPrints systems were chosen as the main objects of research, and a comparative analysis of the main functional capabilities of these systems was carried out. In the course of the work, scientific works of domestic and foreign researchers in international databases such as Scopus, Web of Science, ResearchGate were studied, technical manuals and official websites of these systems were used.

In practice, a brief overview of these systems' interfaces, search and cataloguing pages, architectures, metadata and file formats were described.

The study found that the open source library systems DSpace, Koha and EPrints support a web interface, a cross-platform and an automated library, and identified the advantages and disadvantages of these systems. The study revealed that the open source library systems DSpace, Koha and EPrints support web interface, cross-platform and automated library, and identified the advantages and disadvantages of these systems. It can be noted that the conducted comparative analysis will help librarians make the necessary decision when choosing open-source software for libraries, as well as this solution will save a huge amount of money annually.

Keywords. DSpace, digital library, Koha, institutional repository, Evergreen, ILMS, open source systems.

МРНТИ 44.31.35

https://doi.org/10.48081/VAAP1757

А. С. Никифоров[1], М. С. Кучербаев[2], М. С. Хамитов[3]
[1,2,3]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар
*e-mail: aleke4599@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА ПЕЧЕЙ ПРОКАЛКИ КОКСА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

В данной работе рассматриваются способы оценки термонапряженного состояния футеровки печи по прокалке нефтяного кокса. В качестве примера приводится анализ прочностных характеристик огнеупорной футеровки на начальном этапе разогрева печи по допустимым температурным напряжениям.

Одной из основных технологических операций в прокалке нефтяного кокса является процесс прокалки углеродистого сырья при высокой температуре. Качественные характеристики прокаленного материала оказывают определяющее влияние на качество готового нефтяного кокса. Из всех известных технологических агрегатов для прокалки углеродистого сырья чаще всего используют вращающиеся печи, которые характеризируется наиболее низкой стоимостью, простотой обслуживания, имеют высокую производительность.

До настоящего времени процесс разрушения футеровки в тепловых агрегатах отождествляется лишь с химическим разрушением огнеупорного кирпича от взаимодействия с перерабатываемым продуктом.

Применение известных методов определения механического состояния огнеупорной футеровки, разработанных для условий эксплуатации в энергетических установках для оценки прочности, надежности и долговечности огнеупоров тепловых агрегатов, не дало положительных результатов. Такие дополнительные факторы воздействия, как наличие высоких температур, создают весьма отличительные условия эксплуатации и требуют специфического подхода в научных исследованиях.

Ключевые слова: футеровка печи, температурное напряжение, огнеупоры, термоупругость, коробление.

Введение

При проектировании и эксплуатации теплотехнологических агрегатов необходимо решать такие важные вопросы, связанные с надежной тепловой работой оборудования, как определение времени возникновения и величины максимальных температурных напряжений в элементах футеровки, зависимости напряжений от теплофизических и геометрических параметров, влияние нестационарных условий теплообмена на величину напряжений и т.д. Поэтому использование приближенных методов расчета, несмотря на то что они имеют определенную погрешность, позволяют решать вышеперечисленные проблемы для реальных систем с необходимой для технических приложений точностью [1].

Материалы и методы

Рассмотрим термонапряженное состояние футеровки печи прокалки нефтяного кокса, представив ее, исходя из геометрических параметров самой печи, в виде массивной плиты, подвергающейся температурному воздействию внутренней среды агрегата.

Основным исходным положением для определения температурных напряжений, при различных законах распределения температуры по толщине огнеупорной кладки, принимаем условие равновесия внутренних сил в футеровке:

$$P = \int \sigma dx = 0 \qquad Q = \int \sigma x dx = 0 \tag{1}$$

где P – усилия;
Q – моменты;
σ – напряжения;
x – пространственная переменная.

Расчетные формулы получим на основе решения плоской задачи термоупругости [2]. В этом случае задача сводится к решению уравнения:

$$\frac{d^2}{dx^2}\left[\sigma(x,t) - \frac{\alpha_T \cdot E}{1-\nu} \cdot T(x,t)\right] = 0, \tag{2}$$

где t – временной параметр;
α_T – коэффициент линейного расширения;
E – модуль упругости;
ν – коэффициент Пуассона.

После интегрирования уравнения (2) получим:

$$\sigma(x,t) = \varepsilon E = -\frac{\alpha_T \cdot E}{1-\nu} \cdot T(x,t) + (\mathrm{C} + \mathrm{C}_1 \cdot x), \qquad (3)$$

где ε – деформация, обусловленная монолитностью футеровки;

С и С1 – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий:

$$\sigma(H,t) = 0,$$

где Н – толщина футеровки.

Если учитывать деформации, вызываемые температурными напряжениями при свободном перемещении отдельных слоев футеровки через εсв, то выражение (3) будет иметь вид:

$$\sigma(x,t) = -\frac{\alpha_T \cdot E}{1-\nu} \cdot T(x,t) + (\mathrm{C} + \mathrm{C}_1 \cdot x) = \frac{E}{1-\nu}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{св}}), \qquad (4)$$

Здесь, $\varepsilon_{\text{св}} = \alpha_T \cdot T$, $\varepsilon = \frac{(C+C_1 x)(1-\nu)}{E}$.

В случае, если $\varepsilon_{\text{св}} > \varepsilon$, различные слои будут испытывать напряжения сжатия, а если $\varepsilon_{\text{св}} < \varepsilon$, то растягивающие усилия.

Следовательно, при повышении температуры возникают напряжения сжатия:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{E}{1-\nu}(\varepsilon - \alpha_T T),$$

а при понижении температуры напряжения растяжения

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{E}{1-\nu}(\varepsilon + \alpha_T T).$$

Для определения постоянных интегрирования С и С1, а также ε необходимо воспользоваться уравнениями (1), которые запишутся в следующем виде:

$$\int \sigma dx = \int \frac{E}{1-\nu}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{св}})dx = 0, \qquad (5)$$

$$\int \sigma x dx = \int \frac{E}{1-\nu}(\varepsilon - \varepsilon_{\text{св}})x dx = 0.$$

Примем Е и αТ постоянными. Для быстрой оценки термических напряжений такое допущение вполне оправдано, т.к. в пределах целесообразного применения огнеупорных материалов при высоких

температурах Е уменьшается, а αТ – возрастает. Поэтому точность расчета изменяется незначительно [3].

Решая уравнения (5), находим

$$\varepsilon = \frac{\alpha_T}{H}\left[\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} T(x,t)dx + \frac{12x}{H^2}\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} T(x,t)dx\right], \qquad (6)$$

$$\sigma(x,t) = \frac{\alpha_T E}{1-\nu}\left[\begin{array}{c} \frac{1}{H}\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} T(x,t)dx + \\ \frac{12x}{H^3}\int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} T(x,t)x dx - T(x,t) \end{array}\right] \qquad (7)$$

Совместим ось х с поверхностью футеровки, тогда переменная х преобразуется в ().

В этом случае уравнения (6) и (7) примет следующий вид:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_T}{H}\left[\int_0^H T(x,t)dx + \frac{12(\frac{H}{2}-x)}{H^2}\int_0^H T(x,t)(\frac{H}{2}-x)dx\right], \qquad (8)$$

$$\sigma(x,t) = \frac{\alpha_T E}{1-\nu}\left[\begin{array}{c} \frac{1}{H}\int_0^H T(x,t)dx + \\ \frac{12(\frac{H}{2}-x)}{H^3}\int_0^H T(x,t)(\frac{H}{2}-x)dx - T(x,t) \end{array}\right] \qquad (9)$$

Таким образом, для рассматриваемой футеровки при ее нагреве, расчетную формулу для определения температурных напряжений можно представить следующим образом:

$$\sigma(x,t) = \varepsilon_{\text{сж}} + \varepsilon_{\text{р}} + \varepsilon_{\text{изг}} =$$

$$= \frac{1}{(1-\nu)\cdot H}\int_0^H \alpha_T E T(x,t) +$$

$$\frac{12\left(\frac{H}{2}-x\right)}{(1-\nu)H^3}\int_0^H \alpha_T E T(x,t)\left(\frac{H}{2}-x\right)dx - \frac{\alpha_T E}{1-\nu}T(x,t) \qquad (10)$$

Если условия закрепления футеровки исключают изгиб, то $\sigma_{изг} = 0$; если препятствуют смещению краев, то $\sigma_p = 0$.

Во всех случаях, когда имеется свобода изгибу (коробление) и, следовательно, могут возникать напряжения от неравномерности распределения температуры в сечении футеровки, напряженность уменьшается. Однако этот случай не может быть расчетным, так как вес футеровки и стыковые соединения в действительности почти полностью задерживают коробление, в результате в огнеупорных материалах возникают большие по величине напряжения, чем при свободном короблении. Эти напряжения следует определять, при любом характере распределении температуры по сечению футеровки, по формуле:

$$\sigma(x,t) = \frac{E}{1-\nu}\cdot(\varepsilon - \varepsilon_{\text{св}}) = \frac{\alpha_T E}{1-\nu}\left[\frac{1}{H}\int_0^H T(x,t)dx - T(x,t)\right], \qquad (11)$$

Рассмотрим термонапряженное состояние футеровки печи прокалки нефтяного кокса в начальный период ее пуска, когда в процессе теплообмена происходит сушка огнеупорных материалов [4].

Распределение температуры по сечению футеровки подчиняется параболической зависимости (рис.1) [5]:

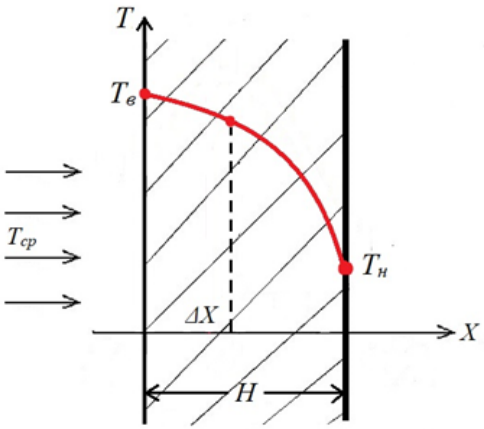


Рисунок 1 – Распределение температуры по сечению футеровки

Известны температуры внутренней $T_в$ = 250 °С и наружной $T_н$ = 20 °С поверхностей, а также толщина футеровки Н.

Расчетные формулы имеют следующий вид:

$$T(x,t) = T_{\text{в}} - \frac{x^2}{H^2}(T_{\text{в}} - T_{\text{н}}) \qquad (12)$$

$$\sigma(x,t) = \frac{\alpha_T E}{1-\nu}\left\{\left[T_{\text{в}} - \frac{x^2}{H^2}(T_{\text{в}} - T_{\text{н}})\right] - \left[T_{\text{в}} - \frac{1}{3}(T_{\text{в}} - T_{\text{н}})\right]\right\} \qquad (13)$$

Футеровка выполнена из муллитокремнеземистых огнеупоров, имеющих следующие теплофизические характеристики [6]:

$\alpha_T = 0{,}86\cdot10^{-5}$ 1/град, $E = 0{,}14\cdot10^5$ МПа, $\nu = 0{,}15$, $H = 0{,}4$ м.

Пространственную переменную x разбиваем на 8 интервалов с $\Delta x = 0{,}05$ м.

Результаты и обсуждение

Результаты расчета по формулам (12) и (13) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Δ*x*, м	T, °C	σ, МПа
0,05	246,48	10,37
0,10	235,05	8,86
0,15	217,57	6,27
0,20	199,53	2,72
0,25	160,08	-1,88
0,30	120,74	-7,48
0,35	77,07	-13,67
0,40	20,00	-21,78

Анализ табличных данных показывает значительную неравномерность температурного поля по толщине футеровки, которая может привести к возникновению экстремальных как сжимающих, так и растягивающих температурных напряжений.

Выбор режима разогрева футеровки печи будет определяться из условия, что температурные напряжения не должны превышать уровень допустимых напряжений для выбранного типа огнеупоров [7].

Исследуем на экстремум уравнение (13). Для этого дважды продифференцируем данную функцию в пределах $0 \le x \le H$. Находим стационарную точку из условия, что первая производная $\sigma'(x,t) = 0$. Тогда вторая производная $\sigma''(x,t) < 0$. Следовательно точка экстремума находится в исследуемых границах. Так как функция $\sigma(x,t)$ ограничена по пространственной переменной x, то наибольшее и наименьшее значения $\sigma(x,t)$ принимает или в точке экстремума или на концах промежутка [8].

В рассматриваемом примере максимальные температурные напряжения приходятся на граничные области: наибольшие сжимающие усилия $\sigma^{сж}_{max}$=10,3 МПа, а растягивающие напряжения равны $\sigma^{рас}_{max}$ = 21,1 МПа.

Здесь необходимо сделать важный вывод о том, что абсолютные численные значения полученных напряжений в футеровке необходимо сопоставлять с прочностными характеристиками огнеупорных материалов, а именно с пределами прочности на сжатие и растяжение используемого огнеупора [9]. В нашем случае предел прочности огнеупора на сжатие лежит в пределах 40 МПа и, как видно, не превышает допустимого предела для данного материала.

С другой стороны, пределы прочности на растяжение большинства применяемых в промышленности огнеупоров, как правило, в несколько раз меньше предела на сжатие [10]. В данном примере полученные растягивающие напряжения уже превышают допустимый предел по прочности.

Выводы

Следовательно, исследуемый режим разогрева футеровки прокалочной печи уже на стадии сушки может приводить к появлению опасных разрушающих напряжений, вызывающих образование трещин, которые ослабляют конструкцию футеровки в целом.

Список использованных источников

1 **Никифоров, А. С.** Надежность работы футеровок металлургических печей. – Павлодар : ЭКО. – 2003. – 110 с.

2 **Боли, Б., Уэйнер,** Дж. Теория температурных напряжений. – М. : Мир, 1964. – 518 с.

3 **Шкляр, Ф. Р., Сургучева, Е. Л., Калугин, Я. П.** Оценка конструкционной термостойкости футеровки // Огнеупоры. – 1988. – № 5. – 9–13 с.

4 **Qin, J., Qi, J.** Analysis on the Refractory Erosion of the Electric Arc Furnace and Study on the Measures of Protecting the Furnace Lining // Advanced Materials Research. – P. 602–604; 2082-2086. – https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.602-604.2082.

5 **Лыков, А. В.** Теория теплопроводности. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.

6 **Anggono, J.** Mullite Ceramics : Its Properties Structure and Synthesis // Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra. – Vol. 7. – No. 1. – Apr. 2005. – P. 1–10. – https://doi.org/10.9744/jtm.7.1.

7 **Schmitt, N., Berthaud, Y., Hernandez, J. F., Meunier, P., Poirier, J.** Damage of monolithic refractory linings in steel ladles during drying // British Ceramic Transactions 103:3. – 2004. – P. 121–133. – https://doi.org/10.1179/096797804225012873.

8 **Егоров, А. И.** Оптимальные управления тепловыми и диффузионными процессами. – М., 1978.

9 **Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Кинжибекова, А. К., Карманов, А. Е.** Комплексная оценка остаточного ресурса огнеупорных материалов высокотемпературных агрегатов // Новые огнеупоры. – № 2. – 2022. – 56–61 с.

10 **Стрелов, К. К., Кащеев, И. Д.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М. : Металлургия, 1996. – 607 с.

References

1 **Nikiforov, A. S.** Nadezhnost' raboty futerovok metallurgicheskih pechej [Reliability of operation of linings of metallurgical furnaces]. – Pavlodar : IVF, 2003. – 110 p.

2 **Pain, B., Weiner, J.** Teoriya temperaturnyh napryazhenij [Theory of temperature stresses]. – Moscow : Mir, 1964. – 518 p.

3 **Shklyar, F. R., Surgucheva, E. L., Kalugin, Ya. P.** Ocenka konstrukcionnoj termostojkosti futerovki [Evaluation of the structural thermal stability of the lining] // Refractories. – 1988. – No. 5. – 9–13 p.

4 **Qin, J., Qi, J.** Analysis on the Refractory Erosion of the Electric Arc Furnace and Study on the Measures of Protecting the Furnace Lining // Advanced Materials Research. – P. 602–604. – 2082-2086. – https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.602-604.2082.

5 **Lykov, A. V.** Teoriya teploprovodnosti [Theory of thermal conductivity]. – Moscow : Higher School, 1967. – 599 p.

6 **Anggono, J.** Mullite Ceramics : Its Properties Structure and Synthesis // Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra. – P. 1–10. – Vol. 7. – No. 1. – Apr. 2005. – https://doi.org/10.9744/jtm.7.1.

7 **Schmitt, N., Berthaud, Y., Hernandez, J. F., Meunier, P., Poirier, J.** Damage of monolithic refractory linings in steel ladles during drying. – British Ceramic Transactions 103:3. – 2004. – P. 121–133. – https://doi.org/10.1179/096797804225012873.

8 **Egorov, A. I.** Optimal'nye upravleniya teplovymi i diffuzionnymi processami [Optimal control of thermal and diffusion processes]. – Moscow, 1978.

9 **Nikiforov, A. S., Prikhodko, E. V., Kinzhibekova, A. K., Karmanov, A. E.** Kompleksnaya ocenka ostatochnogo resursa ogneupornyh materialov vysokotemperaturnyh agregatov [Comprehensive assessment of the residual life of refractory materials of high-temperature aggregates]. – New refractories. – No. 2. – 2022. – 56–61 p.

10 **Strelov, K. K., Kashcheev, I. D.** Teoreticheskie osnovy tekhnologii ogneupornyh materialov [Theoretical foundations of the technology of refractory materials]. – Moscow : Metallurgy, 1996. – 607 p.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**А. С. Никифоров[1], М. С. Кучербаев[2], М. С. Хамитов[3]*
[1,2,3]Торайғыров университеті,
Казақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

КОКС ПЕШТЕРІНІҢ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ӘСЕРЛЕРДІ ЕСЕПТЕУДІҢ КЕЙБІР АСПЕКТІЛЕРІ

Бұл мақалада мұнай коксын күйдіру үшін пештің қаптамасының термиялық кернеулі күйін бағалау әдістері талқыланады. Мысал ретінде рұқсат етілген температуралық кернеулер бойынша пешті қыздырудың бастапқы кезеңінде отқа төзімді төсемнің беріктік сипаттамаларының талдауы келтірілген.

Мұнай коксын күйдірудегі негізгі технологиялық операциялардың бірі көміртекті шикізатты жоғары температурада күйдіру процесі болып табылады. Күйдірілетін материалдың сапалық сипаттамалары дайын мұнай коксының сапасына шешуші әсер етеді. Көміртекті шикізатты күйдіруге арналған барлық белгілі технологиялық қондырғылардың ішінде ең төменгі құнымен, техникалық қызмет көрсетудің қарапайымдылығымен және жоғары өнімділігімен сипатталатын айналмалы пештер жиі қолданылады.

Осы уақытқа дейін жылу қондырғыларындағы қаптаманың бұзылу процесі отқа төзімді кірпіштің өңделген өнімімен әрекеттесуден химиялық бұзылуымен ғана анықталады.

Жылу қондырғыларының отқа төзімділігінің беріктігін, сенімділігін және ұзақ мерзімділігін бағалау үшін электр станцияларындағы жұмыс жағдайлары үшін әзірленген отқа төзімді қаптаманың механикалық күйін анықтаудың белгілі әдістерін қолдану оң нәтиже бермеді. Жоғары температураның болуы сияқты қосымша факторлар өте әртүрлі жұмыс жағдайларын жасайды және ғылыми зерттеулерде нақты көзқарасты талап етеді.

Кілтті сөздер: пештің қаптамасы, температуралық кернеу, отқа төзімділік, термосерпімділік, коробление.

**A. S. Nikiforov[1], M. S. Kucherbayev[2], M. S. Khamitov[3]*
[1,2,3]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 20.06.23.

SOME ASPECTS OF THE CALCULATION OF COKE FURNACES FOR TEMPERATURE EFFECTS

This paper discusses methods for assessing the thermally stressed state of the furnace lining for the calcination of petroleum coke. As an example, an analysis is given of the strength characteristics of a refractory lining at the initial stage of furnace heating according to allowable temperature stresses.

One of the main technological operations in the calcination of petroleum coke is the process of calcining carbonaceous raw materials at high temperature. The quality characteristics of the calcined material have a decisive influence on the quality of the finished petroleum coke. Of all the known technological units for calcining carbonaceous raw materials, rotary kilns are most often used, which are characterized by the lowest cost, ease of maintenance, and high productivity.

Until now, the process of destruction of the lining in thermal units is identified only with the chemical destruction of refractory bricks from interaction with the processed product.

The use of known methods for determining the mechanical state of the refractory lining, developed for operating conditions in power plants to assess the strength, reliability and durability of refractories of thermal units, did not give positive results. Additional factors such as the presence of high temperatures create very different operating conditions and require a specific approach in scientific research.

Keywords: furnace lining, thermal stress, refractories, thermoelasticity, warpage.

МРНТИ 45.53.39

https://doi.org/10.48081/EMPG2885

***А. С. Ногай[1], А. А. Ногай[2], Д. Е. Ускенбаев[3], Э. А. Ногай[4], Н. Н. Дюсенгазина[5]**

[1,2,3,4]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана;

[5]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail : nogay06@mail.ru

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАТОДА НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛА NA_2FEPO_4F В НАТРИЙ ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

В данной статье рентгенографическим методом изучены структурные параметры фторидофосфата Na_2FePO_4F, полученного твердофазным и механосинтезом. Установлены оптимальные режимы синтеза поликристалла Na_2FePO_4F при твердофазном и механосинтезе. Заключено, что структурные параметры Na_2FePO_4F практически не меняются от методов синтеза поликристаллов. Кроме того, определены электрохимические характеристики катодов на основе полученных поликристаллов в натрий ионных аккумуляторах. Показано, что электрохимические свойства катодов на основе поликристаллов Na_2FePO_4F демонстрирую достаточно большую энергоемкость 88 мАч/г и мало зависят от указанных методов получения образцов. Обсуждены вопросы взаимосвязи структуры и электрохимических свойств поликристалла Na_2FePO_4F. Проанализированы вопросы проводимости поликристаллов Na_2FePO_4F. Заключено, что важным фактором, влияющим на процессы ионной проводимости катодного материала Na_2FePO_4F, а также процессы интеркаляции и деинтеркаляции катионов натрия в натрий ионных аккумуляторах являются коэффциент диффузии и энергия активации катионов натрия.

Показано, что по структурным особенностям и полиионности фторидофосфат Na_2FePO_4F способен обеспечить высокую электроемкость в натрий ионных аккумуляторах. Обоснована перспективность и возможность использования этого материала в качестве катода в натрий ионных аккумуляторах.

Ключевые слова: твердофазный синтез, поликристалл, кристаллический каркас, электрохимические свойства, катодный материал, натрий ионный аккумулятор.

Введение

В связи с возрастающей потребностью лития для создания литий ионных аккумуляторов (ЛИА) запасы этого металла на Земле ограничиваются. Поэтомувместо ЛИА необходима разработка альтернативных металл-ионных аккумуляторов (МИА). Внастоящее время актуальнымявляется разработка эффективных натрий-ионных аккумуляторов (НИА) [1], т.к. они более безопасны в эксплуатации, чем ЛИА. К тому же натрий более распространён в природе, а его стоимость значительно ниже, чем литии. Тем не менее пока НИА отличаются более низкой плотностью энергии, чем ЛИА.

Перспективные НИА могут применяться, как источники тока в портативной электронике, так для энергоснабжения электротранспорта, т.к. они способны обладать высокой удельной энергоемкостью, устойчивостью к многократному циклированию, быстрым процессом заряда/разряда [2,3].

Для использования в качестве катодных материалов в НИА активно изучаются фторидофосфаты с общей формулой A_2MPO_4F (A = Li, Na); M = Mn, Fe, Co, Ni [4]. Фторидофосфат Na_2FePO_4F используется в качестве катода в гибридных ионных батареях.

Установлено, что кристаллический каркас Na_2FePO_4F при комнатной температуре имеет орторомбическую сингонию (пр. гр. Pbcn,) и слоистую структуру [5]. Для кристаллического каркаса Na_2FePO_4F характерно наличие двумерных слоев из цепочек, соединенных по вершинам биоктаэдров $Fe_2O_6F_3$ вдоль направления [100], соединенных тетраэдрами PO_4 по направлению [001]. При этом подвижные катионы натрия могут диффундировать в пространстве между слоями, но межслоевая диффузия согласно расчетам, менее вероятна [6].

Для кристаллической структуры α-Na_2FePO_4F характерен дальний антиферромагнитный порядок ниже 3,4 К, обусловленное ферромагнитным упорядочением цепочек, идущих вдоль связанного антиферромагнитного суперпорядка через фосфатные группы вдоль оси *c*, а также с упорядочением вдоль оси *b*. Вероятно, такое упорядочение связано совкладом диполь-дипольного взаимодействия [7].

Катодный материал на основе Na_2FePO_4F имеет обратимую экспериментальную емкость ~110 мАч/г в НИА, устойчивое циклирование и малое изменение объема при интеркаляции и деинтеркаляции (~4 %) [8, 9]. Катоды на основе Na_2FePO_4F обладают рабочим напряжением 3,0 В относительно Na+/Na и теоретической удельной ёмкостью 134 мАч/г.

Исследования электродов на основе Na_2FePO_4F для применения в водных системах аккумуляторов показали, что фторидофосфат натрия-железа действует как эффективный катод для водных Na-ионных аккумуляторов, обеспечивая обратимую емкость более 85 мАч $г^{-1}$ (при скорости 1 мА/$см^2$) с отличной кинетикой скоростью. Кроме того, Na_2FePO_4F был успешно применен для разработки полностью водной ячейки с $NaTi_2(PO_4)_3$ в качестве анода и обеспечивал обратимую емкость 90 мАч $г^{-1}$ [10].

Целью настоящей работы является исследование особенностей структур поликристалла Na_2FePO_4F и электрохимических свойств катодов на их основедля оценкиперспективности их использования в качестве катодных материалов в НИА.

Материалы и методы

Синтез образцов. Поликристаллы Na_2FePO_4F получены двух стадийным твердофазным синтезом и механосинтезом. В качестве исходных реактивов для синтеза образцов были выбраны соли: Na_2CO_3; $NH_4H_2PO_4$ и окслат железа FeC_2O_4. При твердофазном синтезе исходная шихта перетиралась в агатовой ступке, прессовалась в таблетки и затем отжигалась.

Первый отжиг проведенв среде аргона при 620 К, а второй при 890 К с дополнительными гомогенизирующими перетираниями. Продолжительность первой стадии твердофазного синтезасоставляла 5 часов, а второго 16 часов соответственно.

При механосинтезе исходная шихта предварительно обрабатывалась в планетарной мельнице АГО-2 при 600 об/минв течении 2 часов. Отжиг механоактивированной смеси проводили в среде аргона при 900 К в течении 15 часов.

Фазовая принадлежность и структурные параметры полученных поликристаллических образцов Na_2FePO_4F исследованы рентгенографическими методами порошка, с использованием дифрактометра Брукер (CuK_α – излучение).

Электрохимические измерения. Все электрохимические измерения были выполнены в стандартной установке с помощью потенциостата Р-20Х8. Композитный катод состоит из катодной массы с массовым соотношением Na_2FePO_4F 80 %, 10 % технического углерода (AlfaAesar) и 10 % (политетрафторэтилен, Sigma-Aldrich). Эту смесь измельчали в шаровой мельнице в среде этанола в течении 2 ч. Среднее количество электродного композитного материала равнялось 10 мг. Площадь электродов из нержавеющей стали составляло 1 $см^2$. Катодные электроды изготавливались в вакууме, а сушка проводилась в духовке при 120 °С в течение 12 часов. После расплющивания изготовленной массы под давлением, получали электроды в виде дисков. Электрохимические ячейки

собирали в герметичном боксе, заполненном аргоном, с использованием чистой натриевой фольги, который рассматривался в качестве анода. 1 моль $NaClO_4$, растворенного в этиленкарбонате и диметилкарбонате в объемном соотношении 1:1, использовали в качестве электролита.В качестве сепаратора использовали стекловолокно (Whatman, GF/D). Гальваностатическое циклирование измерялось при различных плотностях тока и диапазонах потенциалов с помощью автоматизированной установки по циклированию. Все электрохимические измерения проводились при комнатной температуре (25 °С).

Результаты и обсуждения

Результаты синтеза и рентгеновского исследования поликристаллов Na_2FePO_4F.

Синтезированные поликристаллы Na_2FePO_4F имеют бледно-розовый цвет. Образцы представляли собой хорошо спеченные таблетки диаметром 10 мм и толщиной 1 мм.

Однофазность приготовленных образцов осуществлялась с помощью рентгенофазового анализа. На рис. 1 представлена дифрактограмма порошка поликристалла Na_2FePO_4F, приготовленного методом твердофазного синтеза при комнатной температуре (Т = 293 К). Аналогичная дифрактограмма характерна и для образца, приготовленного механосинтезом.

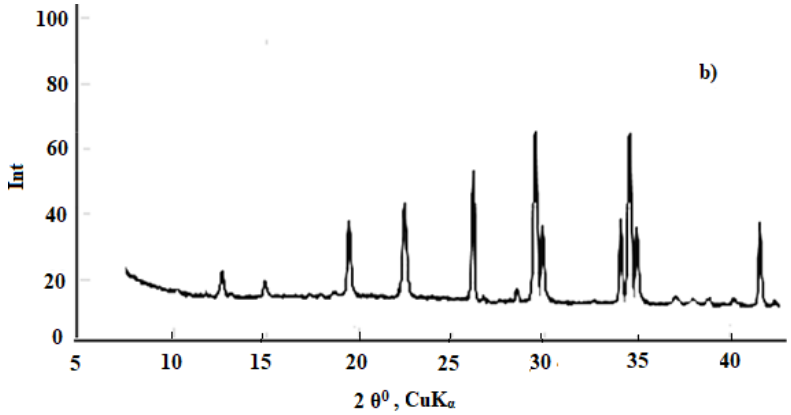


Рисунок 1 – Дифрактограммы порошков поликристаллов для: Na_2FePO_4F при Т=295 К

В настоящей работе было установлено, что поликристаллы Na_2FePO_4F, приготовленные методами твердофазного и мехносинтеза при комнатной температуре (Т = 293 К) имеют орторомбическую сингонию (пр. гр. *Pbcn*),

параметры элементарной ячейки практически идентичны ипривeдены в таблице 1.

Приведённые в табл. 1 параметры элементарных ячеек для поликристалла β–Na_2FePO_4F сопоставимы с литературными данными других авторов, представленных в работах [5, 8].

Таблица 1 – Структурные данные для поликристаллов Na_2FePO_4F, полученных методами твердофазного и мехносинтеза

Соединения	Т, К	Прост. группа	Параметры элементарной ячейки						
			а, Å	в, Å	с, Å	α^0	β^0	γ^0	V/Z
Na_2FePO_4F	293	*Pbcn*	5,2273	13,821	11,749	90	90	90	848,8

Электрохимические свойства катодов на основе поликристалла Na_2FePO_4F. Электрохимические характеристики синтезированных образцов изучали в натриевых ячейках методом гальваностатического циклирования. Циклирование Na_2FePO_4F проводили со скоростью 0.1С в диапазоне напряжений 1,5–3,5 В. На рис. 2 приведенызарядно-разрядные CV-кривые, полученные в ячейке с натриевым анодом и катодом на основе поликристалла Na_2FePO_4F (см. кривую 1 на рис. 2). Результаты получены в интервале напряжений 1,5–3,5 В.

На рис. 2 изображены гальваностатические кривые, полученные на основе Na_2FePO_4F в ячейке с натриевым анодом. Циклирование Na_2FePO_4F выполняли со скоростью 0,1 С в диапазоне напряжений 2,0–4,2 В. Катодный материал на основе Na_2FePO_4F демонстрирует обратимую экспериментальную емкость ~ 88 мАч/г в НИА, устойчивое циклирование и малое изменение объема при интеркаляции и деинтеркаляции.

В процессе измерения было установлено, что заметных отличий в электрохимических свойствах поликристаллов Na_2FePO_4F, полученных твердофазным и механосинтезом не наблюдается, поэтому данные зарядно-разрядных CV-характеристик катодных материалов на основе Na_2FePO_4F приведены в виде рис. 2.

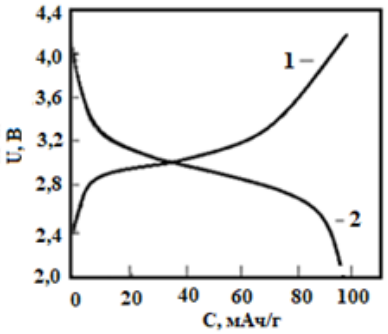


Рисунок 2 – Зарядно-разрядные CV-характеристики катодных материалов на основе Na2FePO4F, полученных методами как твердофазного, так имеханосинтеза в НИА

В целом установленная нами энергоемкость с помощью катодного материала на основе Na_2FePO_4F сопоставимо с результатами, установленными другими авторами при изучении данного фторидофосфата. Тем не менее энергоемкость, установленная в настоящей работе не много ниже, значений, установленных авторами в работе [11], в которой была установлена экспериментальную емкость ~110 мАч/г в НИА. Вероятно, эти различия в энергоемкостях катодного материала на основе Na_2FePO_4F в НИА можно связать с особенностями технологии синтеза образцов, т.е. получения наноструктурированного фторидофосфата.

Обоснование электрохимических свойств поликристаллаи Na_2FePO_4F и возможности использования этих материалов в качестве катодов НИА.

Проведем анализ результатов исследования электрохимических свойств Na_2FePO_4F с точки зрения возможности использования в качестве катодных материалов для НИА.

Известно, что катодный материал определяет основные энергетические характеристики НИА, а именно, рабочее напряжение и электрохимическую емкость.

На основеданных [1, 4] можно установить требования, которыми должны обладать катодные материалам в металл-ионных аккумуляторах(МИА), в частности, для Na_2FePO_4F характерно:

- наличие в анионной структуреэтих фосфатов М-катионов переменной валентности (Fe^{3+}/Fe^{2+} и др.);
- наличие в катонной подрешетке подвижных катионов натрия;
- способность генерировать высокую емкость при высоком рабочем потенциале;

- способность кионной проводимости;

- наличие в анионной структуреэтих фосфатов каналов проводимости (по А- и В-полостям), способных обеспечить малые объемные изменения в процессе заряда-разряда.

Полученные результаты электрохимических свойств Na_2FePO_4F позволяют заключить, что оба материала соответствуют большинству вышеперечисленных требований и имеют перспективы для использования в качестве катодных материалов в НИА.

Также в его составе имеются электрохимически активные ионы, проявляющие разные степени окисления (Fe^{3+}/Fe^{2+}), способные создатьвысокие скорости диффузииионов натрия в объеме материала ивысокую электропроводность (как в объеме, так и по межзерным границам). Недостатком $Na_3Fe_2(PO_4)_3$ является отсутствие электронной проводимости.

Кристаллический каркас Na_2FePO_4F состоит из квазидвумерных слоев биоктаэдров $Fe_2O_6F_3$ вдоль направления [100], соединенных тетраэдрами PO_4 по направлению [001]. Основой анионной кристаллическойструктуры Na_2FePO_4F является ромбоэдрический каркас $\{[Fe_2(PO_4)_3]^{3-}\}_{3\infty}$, обладающаяобширными полостями А- и В- типа. Несмотря на то, что структура Na_2FePO_4F является слоистой и анизотропной, все же этот материал демонстрирует хорошие электрохимические свойства. Предполагается, что проводимость ионов Na^+ в Na_2FePO_4F будет двумерной (2D) в межслоевой плоскости с низкой энергией активации.

Поскольку поликристаллы Na_2FePO_4F рассматриваются как катодные материалы, то необходимо рассмотреть механизм ионной проводимости этих образцов в режиме заряда и разряда в электрохимической ячейке.

Согласно [11] начальный заряд/разряд специфичен и емкость составляет для Na_2FePO_4F около 61 мАч $г^{-1}$ с очень плоскими плато при напряжении около 2,5 В. Обратимая емкость для Na_2FePO_4F составляла 61 мАч $г^{-1}$ и поддерживалась при 57 мАч $г^{-1}$ после 500 циклов без явного исчезновения вместимости.

Ионная проводимость в исследуемом образце можно бытьописана уравнением Аррениуса:

$$\sigma = (\frac{A}{T})\exp(-\frac{E_a}{k_B T}), \quad (1)$$

где σ – проводимость при температуре Т;

КВ – постоянная Больцмана;

Еа – энергия активации;

А – предэкспоненциальный множитель, который учитывает все выше перечисленные факторы (кроме энергии активации), которые влияют на ионную проводимость образцов.

С другой стороны, выражение Нернста-Эйнштейна связывает ионную проводимость с коэффициентом диффузии ионов и полезен с точки зрения молекулярной динамики, т.е. предполагается, что проводимость равна:

$$\sigma = \frac{nq^2 D}{k_B T}, \quad (2)$$

где n – количество подвижных ионов в единице объема;

q – зарядподвижных ионов;

D – коэффициент самодиффузии ионов, которую можно представить так:

$$D = \frac{zNc(1-c)a^2\nu}{k_B T}, \quad (3)$$

где z – количество ближайших соседних полостей;

N – плотность подвижных ионов;

c – концентрация ионов;

a – расстояние между полостями;

ν – частота скачков подвижных ионов равна:

$$\nu = \nu_0 \exp(-\frac{E_a}{k_B T}), \quad (4)$$

где E_a – энергия активации, необходимая для прыжка иона через потенциальный барьер и перехода в соседнюю полость,

ν_0 – частота скачков иона при Т=0.

Выражение (6) позволяет предполагать, что для высокого коэффициента диффузии в твердых телах необходима высокая плотность подвижных ионов, а также наличие свободных участков (к которым могут получить доступ подвижные ионы) (см. (1 – с) в уравнении (6). Наличие широкого «окна проводимости» между А- и В-полостями в канале проводимости формирует низкие барьеры между полостями, что позволит свободному перемещению ионов проводимости с низкой энергией активации (E_a).

Таким образом, важными параметрами для процессов интеркаляции и деинтеркаляции являются значения коэффициентов диффузии подвижных ионов и их энергии активации. Параметры катодных материалов для Na_2FePO_4F представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Электрохимические параметры катодных материалов на основе поликристалла Na_2FePO_4F

Параметры	Na_2FePO_4F	Литература
Удельная емкость разряда, мАч $г^{-1}$	88при U=3,0 V	Эксперим. данные
Удельная емкость разряда, мАч $г^{-1}$	110 при U=3,0 V	[11]
Теоретическая удельная емкость разряда, мАч $г^{-1}$	124 при U=3,0 V для композитного электрода Na_2FePO_4F-PEDOT	[9]
Теоретическая удельная емкость разряда, мАч $г^{-1}$	146 при U=3,3 V	[12]
Коэффициенты диффузии в электродах, $см^2/с$	$4,67 \times 10^{-12}$	[13]
Энергия активации миграции катиона натрия, эВ	[100]0,66 [001]0,53 [010]4,53	[13]

Представленные в таблице параметры катодных материалов на основе поликристаллов Na_2FePO_4F, указывает на возможность их использовании в качестве катодных материалов.

Исследование электродов на основе Na_2FePO_4F показывает, что значения энергоемкости в НИА больше, чем в случае использования электродов на основе $Na_3Fe_2(PO_4)_3$. Большие значения удельной энергоемкости в НИА при использовании катода на основе Na_2FePO_4F можно связать с замещением кислорода на фтор в координационном окружении переходного металла, что может повысить потенциал перехода пары Fe^{3+}/Fe^{2+} на катоде за счет большей электроотрицательности фтора и большей ионности связи Fe–F.

Наличие двумерных (2D) каналов проводимости для транспортировки катионов натрия в Na_2FePO_4F способствуют проведению интеркаляции и деинтеркаляции при заряде и разряде в электрохимической ячейке. Однако, низкая ионная диффузия и электронная проводимость тормозят быстрому протеканию процесса зарядки и разрядки.

Кроме того, 2D-способы требуют более низкой энергии активации в направлениях [100] и [001] (см. табл. 2) и небольшое изменение объема во время окислительно-восстановительного цикла, что способствует большей диффузионной способности с максимальной величиной 10^{-10} $см^2$ $с^{-1}$ [12].

Фторидофосфат Na_2FePO_4F обладает большим рабочим потенциалом по сравнению с металл-оксидами, что может быть связанос индуктивным эффектом фосфатного оксоаниона и высокой электроотрицательности фтора. Для катодных материалов на основе фторидофосфата характерна химическая и термическая стабильность. Также они обладают низкой гигроскопичностью, устойчивостью во влажном воздухе.

Структура Na_2FePO_4F, обеспечивает обратимую электрохимическую активность при 3,5 В с минимальной объемной деформацией и отличным сроком службы 3,6 лет.

Выводы

На основе представленных экспериментальных результатов и анализа электрохимической активности поликристалла Na_2FePO_4F можно сделать следующие выводы:

1 Поликристаллы Na_2FePO_4F благодаря полианионности кристаллических каркасов могут осуществлять интеркаляцию и деинтеркаляцию при заряде и разряде в электрохимической ячейке НИА. Этот материал соответствуют большинству требований, предъявляемым к катодным материалам для НИА.

2 Более высокие значения энергоемкости у Na_2FePO_4F, чем у Na3Fe2(PO4)3 можно объяснить индукционным эффектом, вызванным более выраженной ионностью связи между М-катионами железа и фтора в цепочке октаэдров $[FeO_4F_2]$ анионного кристаллического каркаса. Среди фторидофосфатов Na_2FePO_4F является перспективным кандидатом, из-за его уникальной двумерной структуры для транспорта ионов и малого изменения объема после окислительно-восстановительной реакции.

3 Поликристалл Na_2FePO_4F являются перспективным материалом для применения в НИА, но в коммерческих НИА пока имеются такие недостатки: как низкий рабочий потенциал 2,5–3 В отн. Na^+/Na и низкая электронная проводимость, что является причиной невысоких удельных энергоемкостей. Поэтому необходимы дальнейшие поиски новых технологических решений по дальнейшему повышению удельных энергоемкостей НИА с применением поликристаллов Na_2FePO_4F.

References

1 **Yabuuchi, N., Kubota, K., Dahbi, M., Komaba, S.** Research development on sodium-ion batteries [Text] // Chem. Rev. – 2014. – V. 114(23). – P. 11636–11682. – https://doi.org/10.1021/cr500192f.

2 **Recham, N., Chotard, J. N., Dupont, L., Delacourt, C., Walker, W., Armand, M. and Tarascon, J.** M. A 3.6 V lithium-based fluorosulphate insertion positive electrode for lithium-ion batteries. [Text].Nat. Mater. – 2010. – V. 9(1). – P. 68–74. – https://doi.org/10.1038/nmat2590.

3 **Kang, K., Meng, Y. S., Breger, J., Grey, C. P. and Ceder, G.** Electrodes with high power and high capacity for rechargeable lithium batteries [Text] // Science. – 2006. – V. 311(5763). – P. 977–980. – https://doi.org/10.1126/science.1122152.

4 **Ellis, B. L., Makahnouk, W. M., Rowan-Weetaluktuk, W. N., Ryan, D. H., Nazar, L. F.** Crystal Structure and Electrochemical Properties of A2MPO4F Fluorophosphates (A= Na, Li; M= Fe, Mn, Co, Ni) [Text] // Chem. Mater. – 2009. – V. 22(3). – P. 1059–1070. – https://doi.org/10.1021/CM902023H.

5 **Ellis, B. L., Makahnouk, W. M., Makimura, Y., Toghill K., Nazar, L. F.** A multifunctional 3.5 V iron-based phosphate cathode for rechargeable batteries [Text] // Nat. Mater. – 2007. – V. 6(10). – P. 749–753.

6 **Tripathi, R., Wood, S. M., Islam, M. S., Nazar, L. F.** Na-ion mobility in layered Na_2FePO_4F and olivine NaFe,$MnPO_4$ [Text] // Energy & Environ. Sci. – 2013. – V. 6(8). – P. 2257– 2264.

7 **Avdeev, M., Ling, C. D., Tan, T. T., Li, S., Oyama, G., Yamada, A. and Barpanda, P.** Magnetic Structure and Properties of the Rechargeable Battery Insertion Compound Na_2FePO_4F. Inorg. [Text] // Chem. – 2014. – V. 53. – P. 682−684.

8 **Law, M., Ramar, V., Balaya, P.** Synthesis, characterisation and enhanced electrochemical performance of nanostructured Na_2FePO_4F for sodium batteries. [Text] // RSC Adv. – 2015. – V. 5(62). – P. 50155–50164.

9 **Smiley, D. L., Goward, G. R.** Ex Situ 23Na Solid-State NMR Reveals the Local Na-Ion Distribution in Carbon-Coated Na_2FePO_4F during Electrochemical Cycling [Text] // Chem. Mater. – 2016. – V. 28(21). – P. 7645–7656.

10 **Sharma, L., Nakamoto, K., Sakamoto, R., Okada, S., Barpanda, P.** Na_2FePO_4F Fluorophosphate as Positive Insertion Material for Aqueous Sodium – Ion Batteries [Text] // ChemElectroChem. – 2018. – V. 5. – P. 1–7. – https://doi.org/10.1002/celc.201801314.

11 **Law, M., Ramar, V., Balaya, P.** Synthesis, characterisation and enhanced electrochemical performance of nanostructured Na_2FePO_4F or sodium batteries. [Text] // RSC Adv. – 2015. – V. 5(62). – P. 50155–50164.

12 **Ko, W., Yoo, J-K., Park, H., Lee, Y., Kim, H., Oh Y., Myung, S.-T., Kim, J.** Development of Na_2FePO_4F Conducting-Polymer composite as an exceptionally high performance cathode material for Na-ion batteries [Text] // J. of Power Sources. – 2019. – V. 432. – P. 1–7.

13 **Song, W., Ji, X., Wu, Z., Zhu, Y., Yao, Y., Huangfu, K., Chen, Q. and Banks, C. E.** Na_2FePO_4F cathode utilized in hybrid-ion batteries : a mechanistic exploration of ion migration and diffusion capability [Text] // J. Mater. Chem. – 2014. – V. 2. – P. 2571–2578.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**А. С. Ногай[1], А. А. Ногай[2], Д. Е.Өскенбаев[3], Е. А. Ногай[4], Н. Н. Дүйсенгазина[5]*
[1,2,3,4]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.;
[5]Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

НАТРИЙ-ИОНДЫҚ АККУМУЛЯТОРЛАРДАҒЫ NA_2FEPO_4F ПОЛИКРИСТАЛЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КАТОДТЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Бұл мақалада қатты фазалық және механикалық синтез арқылы алынған Na_2FePO_4F фторидфосфатының құрылымдық параметрлері рентген сәулелерінің дифракциясы арқылы зерттеледі. Қатты фазалық және механикалық синтез кезінде Na_2FePO_4F поликристалын синтездеудің оңтайлы режимдері белгіленді. Na_2FePO_4F құрылымдық параметрлері поликристалды синтездеу әдістеріне байланысты іс жүзінде өзгермейді деген қорытынды жасалды. Сонымен қатар натрий-иондық аккумуляторлардағы алынған поликристалдар негізінде катодтардың электрохимиялық сипаттамалары анықталды. Na_2FePO_4F поликристалдарына негізделген катодтардың электрохимиялық қасиеттері 88 мАч/г жеткілікті жоғары энергия сыйымдылығын көрсететіні және үлгіні дайындаудың көрсетілген әдістеріне аз тәуелді екендігі көрсетілген. Na_2FePO_4F поликристалының құрылымы мен электрохимиялық қасиеттері арасындағы байланыс қарастырылады. Na_2FePO_4F поликристалдарының өткізгіштік мәселелері талданады. Натрий катиондарының диффузиялық коэффициенті мен активтену энергиясы Na_2FePO_4F катодты материалының иондық өткізгіштік процестеріне, сондай-ақ натрий иондық аккумуляторлардағы натрий катиондарының интеркаляциясы және деинтеркалациялану процестеріне әсер ететін маңызды фактор болып табылады деген қорытынды жасалған.

Na_2FePO_4F фторидфосфаты құрылымдық ерекшеліктері мен полииондылығы жағынан натрий-ионды аккумуляторларда жоғары электр сыйымдылығын қамтамасыз ете алатыны көрсетілген. Бұл материалды натрий-иондық аккумуляторларда катод ретінде пайдалану перспективалары мен мүмкіндіктері негізделген.

Кілтті сөздер:қатты фазалық синтез, поликристал, кристалдық каркас, электрохимиялық қасиеттер, катодты материал, натрий-ионды батарея.

**A. S. Nogai[1], A. A. Nogai[1], D. E. Uskenbaev[1], E. A. Nogay[1], N. N. Dyusengazina[2]*
[1] S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana;
[2]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 20.06.23.

STRUCTURE AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF A CATHODE BASED ON NA_2FEPO_4F POLYCRYSTAL IN SODIUM-ION BATTERIES

In this article, the structural parameters of Na_2FePO_4F fluoride phosphate obtained by solid-phase and mechanosynthesis are studied by X-ray diffraction. The optimal regimes for the synthesis of the Na_2FePO_4F polycrystal during solid-phase and mechanosynthesis have been established. It is concluded that the structural parameters of Na_2FePO_4F practically do not change depending on the methods of polycrystal synthesis. In addition, the electrochemical characteristics of cathodes based on the obtained polycrystals in sodium-ion batteries were determined. It is shown that the electrochemical properties of cathodes based on Na_2FePO_4F polycrystals demonstrate a rather high energy capacity of 88 mAh/g and depend little on the indicated methods of sample preparation. The relationship between the structure and electrochemical properties of the Na_2FePO_4F polycrystal is discussed. The issues of conductivity of Na_2FePO_4F polycrystals are analyzed. It is concluded that the diffusion coefficient and activation energy of sodium cations are an important factor influencing the processes of ionic conductivity of the Na_2FePO_4F cathode material, as well as the processes of intercalation and deintercalation of sodium cations in sodium ion batteries.

It is shown that Na_2FePO_4F fluoride phosphate is able to provide high electric capacity in sodium-ion batteries in terms of structural features and polyionicity. The prospects and the possibility of using this material as a cathode in sodium-ion batteries are substantiated.

Keywords: solid-phase synthesis, polycrystal, crystal framework, electrochemical properties, cathode material, sodium-ion battery.

ҒТМАР 621.316

https://doi.org/10.48081/NXIX3331

Б. Онгар[1], Г. К. Смагулова[2], Е. А. Сарсенбаев[3], Э. А. Нурмадиева[4], Е. Е. Сеитбек[5]
[1,3]Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[2,4]Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[5]Логистика және көлік академиясы,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
*e-mail: b.ongar@satbayev.university

СТАЦИОНАРЛЫҚ РЕЖИМДЕРДІ ЕСЕПТЕУДЕ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНІҢ РЕЖИМДЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Бұл жұмыс энергетиктерге арналған оқулық болып табылады және оның ішінде энергетикалық режимді басқару мәселелерінің шағын бөлігі қарастырылады, бұл тек режимді басқару мәселелері бойынша білімге негіз болады.

Мақалада режимді оңтайландырудың заманауи мүмкіндіктеріне көп көңіл бөлінеді. Қазіргі уақытта режимді оңтайландырудың көптеген мәселелері бойынша әдістемелік материал мен есептеу әдістерін құру бойынша белсенді жұмыстар жүргізілуде.

Жалпы электр желілері төртұштықтар құрамына кіретін болғандықтан, төртұшты электр тізбегінің Т, П, және Г-типті сұлбалардан тұратындығын білеміз. Соның ішінде қарасытырып отырған желінің орынбасу сұлбасында П-типті сұлба алынған, және соған байланысты есептеулер жүргізілген. Сондай-ақ желіде бойлай таратылған біріншілік және екіншілік параметрлері анықталынған. Біріншілік параметрлер құрамында меншікті активті кедергі, меншікті индуктивтілік, меншікті сыйымдылық және меншікті өткізгітік мәндерін қарастырсақ, ал екіншілік параметрлер құрамына толқындық кедергі мен тарату коэффициенттерін қарастырамыз.

Гистерезис шығынын сызықтық емес жиілікке тәуелді кедергі ретінде қарастырып шығынын кернеуге емес, магнит ағынына

тікелей байланысты екенін анықтаймыз. Демек, 60 Гц жиілігі үшін орташа шығынды үйлестіру қозу уақыт аймағында дұрыс ағын-ток траекториясы жүреді дегенді білдірмейтіні нақты өзекті болып келеді. Трансформатордың қалдық ағыны-іске қосу токтарын модельдеу үшін гистерезис тұзағы алынады. Режимді оңтайландыру – әрқашан өзекті болған тақырып.

Кілтті сөздер: модернизация, оқшаулау, орамдар, оңтайландыру, магниттеу, гистерезис тұзағы.

Кіріспе

Электр жүйелері мен электр станцияларының режимдерін оңтайландыру энергетикалық жүйелерді басқару теориясы мен әдістерінің бір бөлімі болып табылады.

Электр желілерінің орынбасу сұлбаларын математикалық сипаттау және талдау графтар теориясын қолдана отырып жүргізіледі. Графтар теориясы мен электр тізбектері теориясының қарапайым ұғымдарының сәйкестігі айқын, мысалы: бір сызықты орын басу сұлбасында күрделі тұйықталған үш фазалы электр желісі графтарға бағытталған байланыстармен сәйкес келеді, олар ағаш және хорда тізбектері тәріздес шың мен қабырғадан тұрады [1].

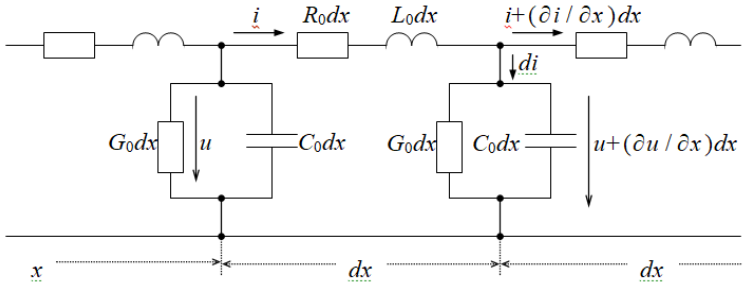
Электрэнергетика жүйесіндегі электр желілерінің басым көпшілігі толқын ұзындығымен салыстырғанда олардың ұзындықтары біршама аз болады. Осыған байланысты желілердің таратылған көрсеткіштерін есептеу кезінінде электр желілерін есептеу біршама қиындық тудырады, оларды елеусіз нақтылау кезінде есептеу нәтижелерінің көрінуін жояды. Сондықтан 300 км-ге дейінгі электр желілерін есептеу кезінде оның параметрлерінің шоғырлануын болжау арқылы есептеу жүзеге асырылады.

Мұндай болжам бойынша есептеулердің қателіктері 1…2 %-дан аспайды, бұл инженерлік есептеулер үшін өте қолайлы. Электр желісінің элементін оның параметрлерімен көрсету орынбасу сұлбасы деп аталады. Симметриялық режимдерді есептеу кезінде орынбасу сұлбасы бір фаза үшін жасалады [2–3].

Электр желілерін есептеу кезінде әуе және кабельдік электр беріліс желілері жалпы жағдайда П-тәрізді орынбасу сұлбасы арқылы ұсынылады (1-сурет). Мұндай сұлба желінің ең ыңғайлы есептеу моделі болып табылады, ол желіде болып жатқан құбылыстардың негізгі сипаттамаларын көрсетеді.

Біз бүкіл желіні ұзындығы dx қарапайым учаскелерге бөлеміз және желінің басынан x қашықтықта орналасқан осындай учаскелердің бірін қарастырамыз. Учаскенің орынбасу сұлбасы келесідей болады (1-сурет) Мұндағы u және i – қарастырылып отырған учаскенің басындағы кернеу

және ток. Учаскенің соңындағы кернеу мен токтың мәні келесіден мәнге ие болады: $\Delta u = \frac{\partial u}{\partial x} dx$ және $\Delta i = \frac{\partial i}{\partial x} dx$.



Сурет 1 – Электр беріліс желісінің орынбасу сұлбасы

Кернеу және ток (u, i) функциясы t және x параметрлеріне бағынышты, олар желіде уақыт бойынша өзгереді, сондықтан орынбасу сұлбасы үшін дифференциалдық теңдеулер жеке туындыларда жасалуы керек.

Контур үшін Кирхгофтың 2-ші заңы бойынша теңдеу:

$$-u + R_0 dx \cdot i + L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t} + u + \frac{\partial u}{\partial x} dx = 0 .$$

Жеңілдетілгеннен кейін келесідей теңдеу аламыз:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = R_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t} \qquad (1)$$

Ом заңы мен Кирхгофтың 1-ші заңы бойынша:

$$di = (u + \frac{\partial u}{\partial x} dx) G_0 dx + C_0 dx \frac{\partial}{\partial t}(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx) = u G_0 dx + C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t}$$

Берілген өрнекте біз екінші ретті d^2x құрамдас бөліктерді елемейміз. Түйін үшін Кирхгофтың 1-ші заңы бойынша:

$$i = i + \frac{\partial i}{\partial x} \cdot dx + di = i + \frac{\partial i}{\partial x} \cdot dx + u G_0 dx + C_0 \cdot dx \frac{\partial u}{\partial t}$$

Жеңілдетілгеннен кейін келесідей теңдеу аламыз:

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \qquad (2)$$

(1) және (2) теңдеулер екі сымды желінің негізгі дифференциалдық теңдеулері болып табылады, олар желінің көрсеткіштерін есептеген кезде әртүрлі жағдайда болады.

Материалдар және әдістер

Электр желісінің тұрақты режимі деп тізбек элементтеріндегі ток пен кернеудің тұрақты немесе апаттан кейінгі режимін, сондай-ақ қуаттары өзгеріссіз бірқалыпты болып келетінін түсінеміз.

Желідегі тұрақты режимді есептеудің негізгі мақсаттары мен міндеттерін келесідей қарауға болады:

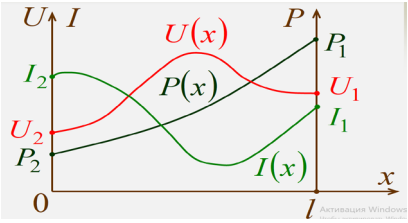
- желі элементтерінің режим көрсеткіштерінің мүмкіндігін тексеру, мысалы, оқшаулағыштың жұмыс жағдайына сәйкес кернеу мәндерін, қыздыру сымдарының шарттарына сәйкес ток мәндерін, пайдалану шарттарына сәйкес қуаттың мәндерін тексеру, яғни активті және реактивті қуаттарды;
- энергетиканың, яғни электроэнергетиканың сапасын бағалау үшін желідегі кернеу ауытқауын нақты мәндерден берілген кернеу ауықуларымен салыстыру арқылы жүзеге асады;
- шығын мәндері бойынша режимнің үнемділігін анықтау үшін электр желісіндегі қуат пен электр энергиясы қажет.

Активті қуатты анықтау:

$$P(x) = U(x) \cdot I(x) \cdot \cos[\psi_U(x) - \psi_I(x)], \text{ Вт}$$

бұл желінің басына қарай монотонды түрде өседі.

U(x), I(x), P(x) тәуелділік графиктері және $\eta=(P_2/P_1)$ ПӘК-і <1 желінің тұрақты режимін талдау үшін қолданылады (2-сурет).



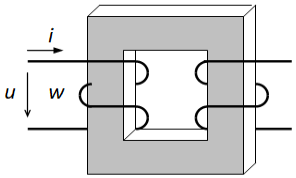
Сурет 2 – *U(x), I(x), P(x)* тәуелділік графиктері [3]

Электр желісінің тұрақты режимін есептеу үшін бастапқы деректер:

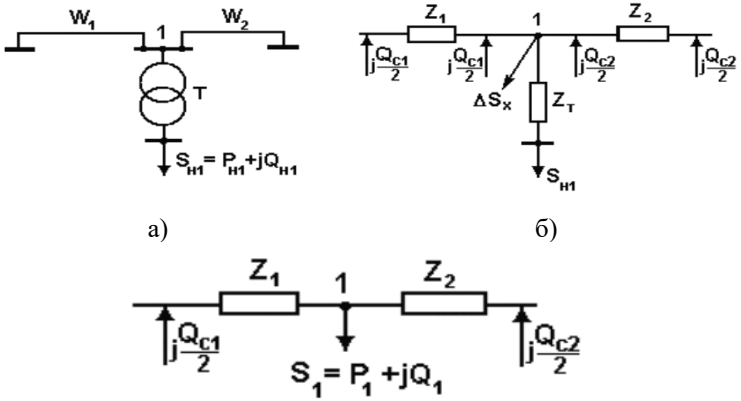
- оның жеке элементтері арасындағы өзара байланысын сипаттайтын электр желісінің құрылымдық сұлбасы;

- электр желісіндегі орын басу тізбегінің көрсеткіштері деп аталатын жеке элементтердің, яғни кедергілердің, өткізгіштердің, түрлендіру коэффициенттеріннен тұратын жеке элементтердің орынбасу сұлбасы;
- жүктемедегі түйіндердің активті және реактивті қуаттарының мәндері;
- электр желісінің түйіндерінің біріндегі кернеудің мәні, кернеу бойынша базистік түйіні деп аталатын.

Қарапайым жағдайларда, егер жұптасқан физикалық шамалардың бірінің уақыт бойынша өзгеру заңы берілсе немесе есептелуі мүмкін болса, онда басқа шаманың уақыт бойынша өзгеру заңы берілген функцияны сызықтық емес элементтің сәйкес физикалық сипаттамасына проекциялау арқылы графикалық түрде алынуы мүмкін [4]. Айнымалы кернеу (трансформатордағы бос жүріс тогы) режиміндегі сызықты емес орам тогының графикалық есебін көрейік (3-сурет).



Сурет 3 – Трансформатордағы бос жүріс тогы [3]



Сурет 4 – Электр желісінің тізбегінің үзіндісі (а), оның толық орынбасу сұлбасы [5] (б) және 1 түйіндегі есептік орынбасу сұлбасы (в)

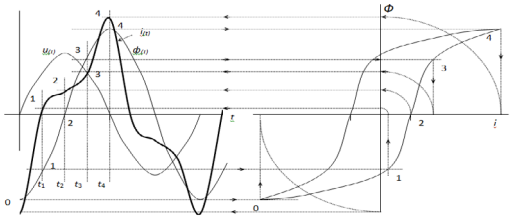
Катушканың қысқыштарына u(t)=Umsinωt кернеуі қосылсын. Өзектегі магнит ағыны кернеумен, индукция теңдеуімен байланысты:

$$u = -e = w\frac{d\phi}{dt},$$

$$\phi(t) = \frac{1}{w}\int u \cdot dt = \frac{U_m}{\omega w}(-\cos\omega t) = \Phi_m \sin(\omega t + 90^o).$$

u(t) және *ф(t)* функцияларының диаграммалары 5-суретте көрсетілген. Оң жақта Фm магнит ағынының есептік амплитудасына сәйкес келетін гистерезис тұзағы түріндегі *ф(i)* магниттік тізбегінің вебер-амперлік сипаттамасы берілген. *i(t)* берілген функцияның *ф(t)* есептік функциясын проекция әдісімен *ф(i)* магниттік тізбегінің вебер-амперлік сипаттамасынан алынады.

i(t) берілген функцияның графикалық диаграммасын құру үшін зерттелетін уақыт интервалы (*T* период) Δt жеке бөліктерге бөлінеді. Масштабта табылған i_0, i_1, i_2 ... функцияның сәйкес мәндері әр уақыт нүктесі t_0, t_1, t_2 ... үшін диаграммада көрсетіледі. Жеке нүктелер тегіс қисықпен қосылады, нәтижесінде берілген функцияның *i(t)* графикалық диаграммасы пайда болады (5-суретте қалың сызықпен көрсетілген).



Сурет 5 – Графикалық диаграмма [8]

Есептің шешімін талдау бойынша, орамның магниттеу тогы синусоидалы емес формалы және құрамында тек тақ гармоникалар бар екендігін көреміз.

Нәтиже және талқылау

λ-i гистерезис тұзағы тұрақты токқа жақын периодты қозу үшін ток пен ағын арасындағы лездік қатынасты береді. Естеріңізге сала кетейік, B-H сипаттамасын масштабтау арқылы *λ-i* алуға болады. *λ-i* гистерезис тұзағының арқасында қалыпты магниттік қанықтыру қисығын береді (6-сурет). (Әр түрлі көздерде қалыпты қанығу қисығы «бастапқы», «тұрақты» немесе

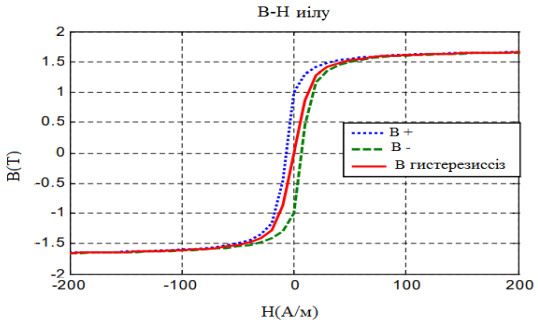
«біріншілік» қанығу қисығы деп те аталады). Гистерезис шығынын сызықтық емес жиілікке тәуелді кедергі ретінде қарастыруға болады. Гистерезис шығыны кернеуге емес, магнит ағынына тікелей байланысты. Демек, 60 Гц жиілігі үшін орташа шығынды үйлестіру қозу уақыт аймағында дұрыс ағын-ток траекториясы жүреді дегенді білдірмейді.

Сурет 6 – *λ-i* Гистерезис тұзағы [8]

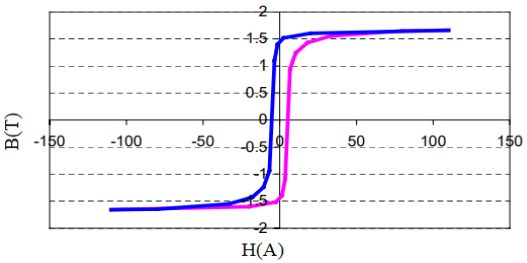
Гистерезис тұзағын бейнелеу әдістерінің бірі-екі гиперболалық функцияны қолданатын (3) теңдеу. Алынған цикл 7-суретте көрсетілген. Бірақ бұл функциялар үшін әр тұзақ үшін анықталған B_r, B_{sat} және HC, қажет [5–7].

$$B_+ = B_{sat} \times \frac{H + H_C}{|H + H_C| + H_C \cdot (\frac{B_{sat}}{B_r} - 1)} \quad and \quad B_- = B_{sat} \times \frac{H - H_C}{|H - H_C| + H_C \cdot (\frac{B_{sat}}{B_r} - 1)} \qquad (3)$$

Мұндағы, B_{sat} – (T) қаныққан уақыттағы индукция; B_r – (T) қалдық магниттелуі; H_C – коэрциативті күш (А/м). (B_+ және B_- -тен) гистерезиссіз қисығы B(гистерезиссіз) = $(B_+ + B_-)/2$ анықталады.



Сурет 7 – Екі гиперболалық функцияны қолдана отырып, гистерезис тұзағының мысалдары [8]



Сурет 8 – Әдеттегі гистерезис тұзағы [8]

Орынбасу сұлбалары мен негізгі элементтердің параметрлері қарастырылды: электр беріліс желілері, трансформаторлар, жүктемелер. Электр желісі элементтерінің параметрлерін анықтауға арналған өрнектер келтірілді.

Электр желісінің тұрақты режимін есептеу әдістемесі қарастырылды. Орнықты режимдегі теңдеулердің соңғы нәтижелері көрсетілген.

Модельдеу қажет электр желілерінің негізгі элементтері:

- электр беріліс желілері (ЭБЖ);
- трансформаторлар (екі орамалы, ТК бөлінген орамасы бар екі орамалы, үш орамалы, автотрансформаторлар);
- жүктеме және генерациялау түйіндері.

Нақты элементтерді модельдеу кезінде олардың сызықтық емес элементтер екендігін ескеру қажет, бірақ бірқатар болжамдармен оларды сызықтық дифференциалдық немесе алгебралық теңдеулерді қолдана отырып математикалық сипаттауға болады, бұл электр желілеріндегі процестерді талдауды едәуір жеңілдетеді.

Бастапқы мәліметтер негізінде бір сызықты кескінде ұсынылған желінің есептеу сұлбасы жасалды. Есептеу сұлбасы зерттелетін электр желісінің барлық элементтерін қамтиды, әрбір элемент үшін оған сәйкес параметрлер көрсетіледі [9].

Есептік сұлбаны электр желісінің моделіне түрлендіріледі, бұл сәйкес параметрлері бар элементтердің орынбасу сұлбаларының жиынтығы. Бастапқы параметрлерді электр желісінің жұмыс режимінің параметрлеріне түрлендіру-режимді есептеудің негізгі мақсаты.

Электр желісінің моделінің бастапқы параметрлері:

- элементтердің номиналды параметрлері (нақты кедергілер. өткізгіштік, ұзындық, кернеу, қуат және т.б.);
- зерттелетін желінің активті және реактивті жүктемелерінің мәндері;
- бастапқы түйін ретінде қабылданатын базистік түйіннің кернеуі.

Қорытынды

Бұл модельдің параметрлерін анықтау үшін параметрлерді бағалау әдістері әзірленді.

Трансформатордың негізгі жоғалту моделінің параметрлерін зауыттың негізгі сынақ деректері мен оңтайландыру әдістерін қолдану арқылы бағалауға болады. Құйынды ток шығындарын тұрақты кедергімен модельдеуге болады. Дегенмен, гистерезис жоғалуын модельдеу үшін ағымдағы айдау (инжекция) әдісін қолдану қажет, себебі ол жиілікке тәуелді.

Әрбір гистерезис тұзағы үшін оңға ығысу сызықты және солға ығысу сызықты емес, төмен ағында баяу өседі, жоғары ағында жылдамырақ, содан кейін максималды ағында нөлге дейін төмендейді деген болжам өте тиімді болып шықты, өйткені алынған қисық сызықтармен дәлелденеді.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Агеев, В. А.** Оптимизация коэффициента трансформации регулируемого трансформатора и режима напряжения электрической сети с помощью генетического алгоритма – 2019. – С. 141–148.

2 **Агеев, В. А.** Применение метода Ньютона для расчета режима электроэнергетической системы. – 2017. – С. 347–351.

3 **Агеев, В. А.** Методика расчета нагрузки при расчете режима электроэнергетической системы // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. – 2017. – С. 351–357.

4 **Агеев, В. А.** Методика расчета трансформатора при расчете электронного режима электроэнергетической системы. – С. 318–323.

5 **Агеев, В. А.** Сравнительный анализ методов расчета режимов электросетей. – 2018. – № 1. – С. 30–33.

6 **Анисимов, Т. С.** Регулирование напряжения в распределительных сетях с использованием теории нечеткой логики // Введение в электроэнергетику. Материалы 1-й Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – 2014. – С. 33.

7 **Душутин, К. А.** Обзор методов расчета режимов региональной электросети. – 2019. – С. 183–188

8 **Чо, Сунг Донг,** «Оценка параметров для моделирования трансформаторов» : диссертация // Мичиганский технологический университет. – 2002. – 79 с. – https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etds/60.

9 **Куликов, А**. Переходные процессы в электроэнергетической системе х : учебник. – 2013. – 380 с.

10 **Лыкин, А. В.** Электрические системы и сети : учебник для среднего профессионального образования / А. В. Лыкин. – 2023. – 362 с.

11 **Евдокунин, Г. А.** Электрические системы и сети : учебное пособие для студентов электроэнергетических спец. вузов. – 2001. – 685 с.

12 **Железко, Ю. С.** Принципы нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях и программное обеспечение расчетов // Электрические станции. – 2001. – № 9. – С. 33–37.

13 **Воротницкий, В. Э., Заслонов, С. В., Калинкина, М. А.** Комплекс программ для расчета балансов электроэнергии в распределительных электрических сетях // Научная конф. : Энергосистема : управление, качество, безопасность. – Екатеринбург, 2001. – С. 431–434.

References

1 **Ageev, V. A., Ageev, V. A., Repyev, D. S., Volgushev, P. A., Burnaev, A. I., Pyatkin, D. V.** Optimizasia koefisienta transformasii reguliruemogo transformatora i rejima napryajenia elektricheskoi seti s pomoshiu geneticheskogo algoritma [Optimization of the transformation ratio of an adjustable transformer and the voltage regime of an electrical network using a genetic algorithm]. – 2019. – P. 141–148.

2 **Ageev, V. A. Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Volgushev, P. A., Dudin, A. V.** Primenenie metoda Niutona dlya rascheta rejima elektroenergeticheskoi sistemy [Application of Newton's method to calculate the regime of an electric power system]. –2017. – P. 347–351.

3 **Ageev, V. A. Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Volgushev, P. A., Rep'ev, D. S.** Metodika rascheta nagruzki pri raschete rejima elektroenergeticheskoi sistemy / Energoeffektivnye i resursosberegaiushie tehnologii i sistemy [Load calculation method for calculating the mode of an electric power system // Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. – 2017. – P. 351–357.

4 **Ageev, V. A. Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Volgushev, P. A., Dudin, A. V.** Metodika rascheta transformatora pri raschete elektronnogo rejima elektroenergeticheskoi sistemy [Calculation technique for a transformer in calculating the electronic mode of an electric power system]. – 2017. – P. 318–323.

5 **Ageev, V. A. Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Dudin, A. V.** Sravnitelny analiz metodov rascheta rejimov elektrosetei [Comparative analysis of methods for calculating power grid modes]. – 2018. – P. 30–33.

6 **Anisimov, T. S.** Regulirovanie napryajenia v raspredelitelnyh setyah s ispolzovaniem teorii nechetkoi logiki [Voltage regulation in distribution networks using the theory of fuzzy logic] // Vvedenie v elektroenergetiku. Materıaly 1-i Vserossiiskoi molodejnoi nauchno-prakticheskoi konferensii [Introduction to the electric power industry. Materials of the 1st All-Russian Youth Scientific and Practical Conference]. – 2014. – P. 33.

7 **Dushutin, K. A.** Obzor metodov rascheta rejimov regionalnoi elektroseti [Review of methods for calculating the modes of a regional power grid]. – 2019. – P. 183–188.

8 **Cho, Sung Dong.** Occenka parametrov dlya modelırovanıa transformatorov [Parameter Estimation for Transformer Modeling : dissertation]. – Michigan Technological University, 2002. – P. 79. – https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etds/60.

9 **Kulikov, A.** Perehodnye prosesy v elektroenergeticheskoi sisteme [Transient processes in the electric power system]. – 2013. – P. 380.

10 **Lykin, A. V.** Elektricheskie sistemy i seti : uchebnik dlya srednego professionalnogo obrazovaniya [Electrical systems and networks : a textbook for secondary vocational education] / A. V. Lykin. – 2023. – P. 362.

11 **Evdokunin, G. A.** Elektricheskie sistemy i seti [Electrical systems and networks : Textbook for students of electrical engineering special]. – Universities, 2001. – P. 685.

12 **Zhelezko, Yu. S.** Prinsipy normirovanya poter elektroenergyi v elektricheskih setyah i programmnoe obespechenie raschetov // Elektricheskie stansii [Principles of regulation of electricity losses in electrical networks and software for calculations]. – 2001. – P. 33–37.

13 **Vorotnitsky, V. E., Zaslonov, S. V., Kalinkina, M. A.** Kompleks programm dlya rascheta balansov elektroenergyi v raspredelitelnyh elektricheskih setyah // Nauchnaya konf. : Energosistema: upravlenie, kachestvo, bezopasnost [A software package for calculating the balances of electricity in distributive electrical networks // Scientific Conf. : Energy system : management, quality, safety]. – Yekaterinburg. – 2001. – P. 431–434.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

**Б. Онгар[1], Г. К. Смагулова[2], Е. А. Сарсенбаев[3], Е. А. Нурмадиева[4], Э. Э. Сейтбек[5]*

[1,3]Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатбаева, Республика Казахстан, г. Алматы;

[2,4]Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы;

[5]Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОСЕТИ В РАСЧЕТАХ НА СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ

Данная работа является учебником для энергетиков, и в ней рассматривается небольшая часть задач управления энергосистемой, которая является лишь базой знаний по задачам управления энергосистемой. Статья посвящена современным возможностям оптимизации режимов.

В настоящее время ведется активная работа по созданию методического материала и методов расчета по многим вопросам оптимизации режимов. Поскольку все электрические сети являются частью четырехугольников, мы знаем, что четырехугольные электрические цепи состоят из цепей Т-, Р- и Г-типа. Среди них в схеме замещения рассматриваемой сети была получена схема П-типа, в связи с которой были произведены расчеты.

Также определяются первичные и вторичные параметры, распределенные по сети. Если в составе первичных параметров рассматривать значения удельного активного сопротивления, удельной индуктивности, удельной емкости и удельной проницаемости, то в составе вторичных параметров - волновое сопротивление и коэффициенты распределения.

Рассматривая гистерезисные потери как нелинейное частотно-зависимое сопротивление, мы определяем, что потери напрямую связаны с магнитным потоком, а не с напряжением. Таким образом, совершенно очевидно, что средняя координация потерь для частоты 60 Гц не означает, что во временной области возбуждения следует правильная траектория потока-тока. Получена гистерезисная ловушка для моделирования остаточных пусковых токов трансформатора.

Оптимизация режимов – тема, которая всегда была актуальна.

Ключевые слова: модернизация, изоляция, катушка, оптимизация, намагниченность, петля гистерезиса.

**B. Ongar[1], G. K. Smagulova[2], Ye. A. Sarsenbaev[3], E. A. Nurmadieva[4], Ye. Ye. Seitbek[5]*
[1,3]K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Republic of Kazakhstan, Almaty;
[2,4]Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty;
[5]Academy of Logistics and Transport, Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 20.06.23.

MODELING AND OPTIMIZATION OF POWER NETWORK MODES IN STATIONARY MODE CALCULATIONS

This work is a textbook for power engineers, and a small part of power system control problems is considered in it, which is only a basis for knowledge on power system control problems.

The article focuses on modern possibilities of mode optimization. At present, active work is being done on the creation of methodological material and calculation methods on many issues of mode optimization. Since all electrical networks are part of quadrilaterals, we know that quadrilateral electrical circuits consist of T, P, and G-type circuits.

Among them, a P-type circuit was obtained in the replacement circuit of the network under consideration, and calculations were made in connection with it. Primary and secondary parameters distributed along the network are also defined. If we consider the values of specific active resistance, specific inductance, specific capacitance and specific permeability as part of the primary parameters, we consider the wave impedance and distribution coefficients as part of the secondary parameters.

Considering the hysteresis loss as a non-linear frequency-dependent resistance, we determine that the loss is directly related to the magnetic flux and not to the voltage. Therefore, it is clearly relevant that the average loss coordination for a frequency of 60 Hz does not mean that the correct flux-current trajectory follows in the excitation time domain. A hysteresis trap is obtained to model the residual flux-inrush currents of the transformer.

Mode optimization is a topic that has always been relevant.

Keywords: modernization, isolation, coil, optimization, magnetization, hysteresis loop.

SRSTI 44.31.41

https://doi.org/10.48081/PCLP1059

S. A. Orynbayev[1], A. B. Tokmoldaev[2], *N. Sh. Abdlakhatova[3], L. F. Ribeiro[4], T. S. Zhusup[5]

[1,5]Taraz Regional University named after M. Kh. Dulaty, Republic of Kazakhstan, Taraz;
[2,3]Kazakh National Agrarian Research University, Republic of Kazakhstan, Almaty;
[4]Instituto Politécnico de Bragança, Republic of Portugal, Bragança; Associated Laboratory for Energy, Transports and Aerospace–LAETA/INEGI, Campus da FEUP, 4200-465, Republic of Portugal, Porto
*e-mail: abdlakhatova@list.ru

THE POTENTIAL OF GEOTHERMAL SOURCES IN SOUTHERN KAZAKHSTAN FOR HEAT SUPPLY TO RURAL CONSUMERS, THE CASE OF THE ZHAMBYL REGION

The article presents the characteristics of geothermal deposits in the south of Kazakhstan and the analysis of the potential of geothermal waters of the Zhambyl region. Moreover, the study carries out the review of various types and methods of using geothermal water for household and its needs. Consequently, it outlines information on thermal boreholes. During the elaboration, manufacture and testing of these combined power units, several scientific and technical issues, such as the choice of the optimal low-boiling working fluid for heat and hot water supply systems were solved. An overview of the refrigerants and vapor compression fluids currently available have been made. The classification and characteristics of secondary heat carriers of various types and temperatures of their use are given. Therefore, it is proposed to use non-azeotropic binary mixtures as working bodies of a closed heat-power circuit. Moreover, an analysis was carried out on the use of non-azeotropic mixtures for heat pumps. It is proposed to use mixtures of refrigerants as working bodies for the second circuit. The specific characteristics of refrigerants are outlined. As a result, a description of the operation scheme of a steam compression heat pump operating in the mode of heat and hot water supply is highlighted.

Keywords: groundwater, geothermal resources, refrigerating gas, heat pump, propane, liquefied carbon dioxide.

Introduction

According to the results of studies of hydrogeothermal resources of Kazakhstan, more than a hundred exploration wells have been drilled for more than forty years, in which thermal waters with standard characteristics of flow rate, temperature and salinity, gas chemical composition, as well as prospects for use have been found. The use of geothermal energy potential is determined. 3,544 underground water deposits have been registered in the republic, their reserves amount to more than 42 million cubic meters of water per day. Groundwater reserves are replenished naturally due to precipitation or river runoff.

Based on the research, five characteristic geothermal zones have been identified for the territory of Kazakhstan:

- up to 20 °C – cold water;
- 20...40 °C – thermal, suitable for balneology, greenhouse and greenhouse farms;
- 40...75 °C – thermal waters suitable for district heating;
- 75...100 °C – thermal waters suitable for district heating, and at high pressures and costs – for electricity generation;
- >100 °C – thermal waters suitable for complex use of steam and hot water [1–2].

The object of the study is geothermal sources that have sufficient potential for heat supply of adjacent residential buildings and small settlements.

The objective of the study is to assess the potential of wells in the Zhambyl region, the possibilities of using secondary heat carriers in heat pumps for efficient heat supply.

Materials and methods

2.1. Research area

In order to assess the potential of hydrogeological wells of the Zhambyl region, which is geographically located at coordinates 44° N.L 72° E.L surveys of hydrogeological wells were carried out with measurements of the flow rate, temperature and pH of water, sampling of water for laboratory studies. The duration of the stage is about 25 days.

204 hydrogeological wells were identified in the studied territories, of which 137 are self-draining (Table 1, Fig.1), in 23 wells the groundwater level is below the earth's surface, a submersible pump is installed in 19 wells, and in 25 wells the trunk is abandoned with stones and foreign materials. For clogged wells, cleaning the trunk with an airlift unit or drilling new wells is required. As the survey shows, 90% of self-draining wells are located within the Merke district [3].

Table 1 – Results of hydrogeological wells survey (2021)

No.	Administrative region	Total inspected well	With well-spring	Without well-spring	With pump	Clogged by stones
1	Merke	182	132	22	5	23
2	Shu	5	5	-	-	-
3	Korday	17	-	1	14	2
Total		204	137	23	19	25

Figure 1 – Administrative research areas

The flow rates of self-draining wells vary from 0.1 l/s to 40 l/s. The water level is at a depth of 0.1–10 m, in some wells a submersible pump is used to take water for domestic drinking water supply. The water temperature in the wells varies from 10.0 °C to 32.0 °C. The reaction (pH) of water is 7.5–9.5 (Table 2) [4].

Table 2 – Example of description of hydrogeological wells in the studied areas from 08/20/2021

Well No.	Geographic coordinates		Brief description of wells	Flow rate, l/sec	Photo of wells
	Northern latitude	East longitude			
2	42° 52' 42.84"	73° 5' 50.91"	Spouting well is located opposite the Aktogan village. t of water in the well is 17.7 °C pH=8.0	5	

9	42°52' 54.55"	73° 25' 12.31"	Spouting well is located at the entrance of Makhanda village. t of water in the well is 11.9°C, pH=8.3	20	
60	42°53' 3.10"	73° 28' 40.30"	Spouting well is located to the north of Kyzylkistak village, 1.2 km. t of water in the well is 15.0°C, pH=8.6	25	
22	42°58' 55.68"	73° 17' 15.05"	Spouting well is located in the territory of Sypatay Batyr enterprise. t of water in the well is 17.8°C, pH=8.5	30	
43	42°50 '2.50"	73°24' 42.80"	Wellbore clogged by rocks and foreign materials	-	

2.2. The use of secondary heat transfer medium for the efficient use of geothermal waters

As can be seen from the review, there are many explored deposits of geothermal waters with temperatures above 40 °C in the south of Kazakhstan. But there are a large number of sources with water temperatures below 40 °C, which are poorly used or ignored. In this regard, we suggest using geothermal water from 20–40 °C for heat and hot water supply according to the following scheme. To do this, we willneed geothermal water at its normal temperature and a second additional liquid with a lower boiling point than water, bothpassed through a heat exchanger. The heat of geothermal water evaporates the second liquid, the vapors of which drive the turbines. Since this is a closed system, there are practically no emissions into the atmosphere. During the development, manufacture and testing of these combined power units, it is necessary to solve a number of scientific and technical issues, such as choosing of a working fluid with a low boiling point of the second circuit, determining the lowest temperature, the condensate cooling

temperature and choosing the optimal method for obtaining non-condensing gases from the condenser-evaporator.

As is known from the principle of operation of a closed-cycle compression heat pump, for the efficient operation of a closed circuit, a heat pump needs an additional fluid that converts geothermal water into steam. These liquids are also called: freon, freon, refrigerants. These working will ensure stable operation and high efficiency of the heat pump with the specified parameters. Traditionally, the most common working fluidsfor heat pumps are refrigerants: R11, R12, R13, R113, freon (R-134a), isobutane, freon, propane, etc. We determine the working fluid for the pump [5].

From the analyzed group of refrigerants, three refrigerants can be selected that are acceptable in terms of environmental characteristics. It is proposed to use non-azeotropic binary mixtures R32/R134a and R32/R152a as working bodies of a closed heat-power circuit. The most environmentally safe refrigerant is R152a. The working substance R152a is a medium-pressure refrigerant for the average operating temperature range of heating systems. The thermophysical characteristics are close to those of R12 and R134a refrigerants. Although hladon R152a is a good substitute for hladon R12, however, in its pure form it is not used because of its combustibility. R152a is used mainly in non-combustible mixtures of refrigerants. Refrigerant R152a is toxicologically safe, thermally and chemically stable, which contributes to the favorable operation of hot water supply [6].

Based on the analysis carried out on the use of non-azeotropic mixtures, we propose for heat pumps to use mixtures of refrigerants R32/R134a and R32/R152a as working bodies with a percentage of components of 30 to 70 %.

The higher values of the conversion coefficient of a heat pump operating on hot water supply, compared with the results obtained in the combined mode of heating + hot water supply, are explained by the fact that the difference between the boiling point and condensation in the hot water supply mode is smaller. Accordingly, the compression work is less.And, as a result, a higher conversion coefficient is obtained. In reality, the mode in which the heat pump works simultaneously for the needs of heating and hot water supply is more profitable. Since in such a cycle, the heat of the condensate is more fully used and the temperature of the water going for heating is higher than in the hot water supply mode [7–8].

The conversion coefficient obtained on R152a refrigerant exceeds R12 at various condensation temperatures from 2 % to 3 %, and the higher the condensation temperature, the more efficient the use of R152a refrigerant. Therefore, the best option for a secondary coolant for this scheme of operation of a steam compression heat pump is hladon R152a.

Results and discussion

The heat pump has three main units (evaporator, condenser, and compressor) and three circuits (cold, low-potential water source and water heating). Figure 4 shows the scheme of operation of the heat pump.

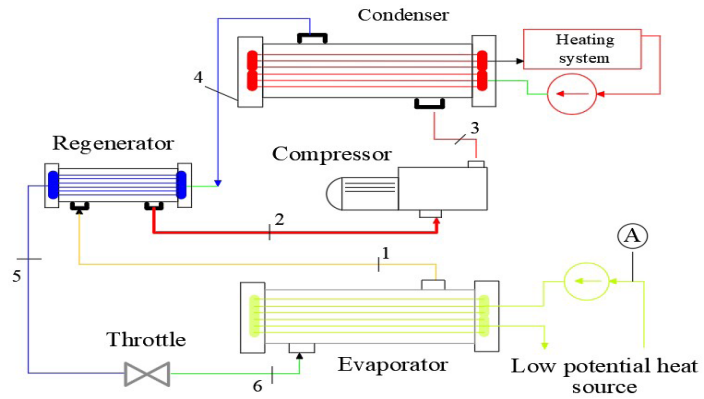


Figure 2 – Scheme of operation of a vapor compression heat pump

“The scheme works as follows: when low-potential heat is supplied to the heat pump’s evaporator, the working fluid boils, transforming into a gaseous state (point 1). Next, the dry saturated steam enters the regenerator (point 2). Steam overheating occurs in the regenerator, and the superheated steam enters the 2nd compressor. Due to the compressor’s work, the working fluid’s enthalpy and temperature increase (point 3). In the condenser, the refrigerant condenses and turns into a liquid state, transferring heat to the process coolant. The liquid refrigerant enters the regenerator and shares part of the heat with the dry saturated steam before entering the compressor (point 4). Liquid refrigerant (point 5). under pressure enters the evaporator through a throttling device (temperature-regulating expansion valve) (point 6), and the cycle repeats.

In this scheme, R134a and R152a were used as refrigerants. Water from a well with a water temperature of 24 °C is used as a low-potential source. For calculations, the boiling point of the refrigerant in the heat pump evaporator is assumed to be 19 °C. The overheating of the refrigerant after the evaporator is set to 3 °C.The vapors of the refrigerant formed during boiling are sucked in by the compressor, so that the evaporator always maintains a low pressure and, consequently, a low temperature. Further, in the compressor, the refrigerant vapors are compressed and pumped into the condenser, where, condensing, it gives its

heat to water. From the condenser, liquid refrigerant enters the super cooler, where it gives part of its heat to water. After passing through the throttling device, the refrigerant enters the evaporator and the working cycle repeats [9–10].

Table 2 – Comparison of the conversion coefficient φ for different refrigerants

Parameter	Modes					
	Heating		Hot water supply		Heating+Hot water supply	
	R134a	R152a	R134a	R152a	R134a	R152a
t_0, ^0C	19					
t_k, ^0C	75		55		75	
i1', kJ/kg	409,08	519,56	409,08	519,56	409,08	519,56
i1, kJ/kg	412,00	523,19	412,00	523,19	412,00	523,19
ic, kJ/kg	442,08	572,00	432,75	556,34	442,08	572,00
i2', kJ/kg	446,00	578,36	434,17	558,61	446,00	578,36
i3, kJ/kg	313,14	341,23	279,32	300,13	313,14	341,23
i4, kJ/kg	310,22	337,60	276,4	296,50	276,80	304,89
i1- i1',kJ/kg	2,92	3,63	2,92	3,63	2,92	3,63
i3- 4,kJ/kg	2,92	3,63	2,92	3,63	36,34	44,32
Alд, kJ/kg	34,00	55,17	22,17	35,42	34,00	55,17
q_k, *kJ/kg*	135,78	240,76	157,77	262,11	169,20	281,45
φ	3,99	4,36	7,12	7,40	4,98	5,10

From Table 4, you can see that

1 The conversion coefficient under the same initial conditions is higher for a heat pump running on R152a from 2.4 to 8.4 % than on R134a freon.

2 The compression performance of a compressor running on R152a freon is up to 38 % higher than on R134a.

Conclusion

Based on the conducted research, it can be stated that the geothermal waters of our republic are not used effectively, their potential and capabilities for providing heat and hot water supply are not sufficiently investigated. There are no promising research projects in this area in Kazakhstan. The proposed heat pump scheme can be used in almost all modern hot water and heating systems, which will provide hot water and heat supply to nearby villages and farms. The effective use of geothermal sources will save on combustible fuel and create conditions for ensuring environmental safety. The experience of using geothermal waters in developed countries shows their unlimited possibilities for generating heat and electricity.

References

1 **Ужкенова, Б. С.** Водные ресурсы Казахстана (Поверхностные и подземные воды, современное состояние) : Справочник [Текст] / под ред. Б. С. Ужкенова. – Алматы : НИЦ «Гылым», 2002. – 596 с.

2 **Мухамеджанов, М. А.** Подземные воды Казахстана – стратегический ресурс, важный источник организации водоснабжения / М. А. Мухамеджанов // Материалы Международной научной конференции «Актуальные проблемы управления водными ресурсами и водосбережения». – Алматы, 2014. – С. 7–20.

3 **Веселов, В. В.** Гидрогеологическое районирование и региональная оценка ресурсов подземных вод Казахстана (Анализ результатов исследований за 1961–2002 гг.) / В. В. Веселов. – Almaty, 2002. – 438 с.

4 **Муртазин, Е., Мирошниченко, О., Трущел, Л.** Описание информационной системы ресурсов и запасов подземных вод Казахстана / Е. Муртазин // 19-я Международная междисциплинарная научная геоконференция. – 2019. – Р. 137–144 [Электронный ресурс]. – http://www.sgem.org.

5 **Ли, Х.** Термодинамические характеристики смеси R32/R152a для водяных тепловых насосов / Х. Ли, Х. Ким, Д. Канг, Д. Юнг // Energy. – Vol. 40. – № 1. – 2012. – 100–106 с.

6 **Калнинь, И. М.** «Исследование газоохладителей тепловых насосов на R744 / И. М. Калнинь, И. В. Деревич , С. Б. Пустовалов // Холодильная техника и технология». – №11. – 2004. – С. 10–15.

7 **Быков, А. В.** Об эффективности термодинамических циклов на неазеотронных смесях компонентов / А. В. Быков, И. М. Калнинь // Холодильная техника. – 1980. – № 12. – С. 11–20.

8 **Антаненкова, И. С.** Термодинамическая эффективность теплонасосных установок / И. С. Антаненкова, А. А. Сухих // Вестник Международной академии холода. – 2013. – № 1. – С. 43–47.

9 **Сухих, А. А.** Методика сравнения термодинамической эффективности циклов холодильных и теплонасосных установок / А. А. Сухих, И. С. Антаненкова // Вестник Международной академии холода. – 2012. – № 4. – С. 21–25.

10 **Briganti, A.** Тепловые насосы в жилых помещениях / A. Briganti // АВОК. – №5–6. – 2001.

References

1 **Uzhkenova, B. S.** Vodnye resursy Kazahstana (Poverhnostnye i podzemnye vody, sovremennoe sostojanie) : Spravochnik [Water resources of Kazakhstan (Surface and underground waters, current state : handbook] [Text] / ed. by B. S. Uzhkenova. – Almaty : NIC «Gylym», 2002. – 596 p.

2 **Mukhamedjanov, M. A.** Podzemnye vody Kazaxstana – strategicheskiy resurs, vajny istochnik organizatsii vodosnabjeniya [Underground waters of Kazakhstan – a strategic resource, an important source of water supply organization] / M. A. Mukhamedjanov // Materialy Mejdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Aktualnye problemy upravleniya vodnymi resursami i vodosberejeniya» [Proceedings of the International Scientific Conference «Actual problems of water resources management and water conservation»]. – Almaty, 2014. – 7–20 p.

3 **Veselov, V. V.** Gidrogeologicheskoe rayonirovaniei regionalnaya otsenka resursov podzemnyx vod Kazaxstana [Hydrogeological zoning and regional assessment of groundwater resources of Kazakhstan] / V. V. Veselov / Analiz rezultatov issledovaniy za 1961–2002 gg. [Analysis of research results for 1961–2002]. – Almaty, 2002. – 438 p.

4 **Murtazin, E., Miroshnichenko, O., Trushel, L.** Opisanie informatsionnoy sistemы resursov i zapasov podzemnыx vod Kazaxstana [Description of the informational system of groundwater resources and reserves of Kazakhstan] / E. Murtazin // 19ya Mejdunarodnaya mejdistsiplinarnaya nauchnaya geokonferentsiya [19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference]. – 2019. – P. 137–144 [Electronic resource]. – http://www.sgem.org.

5 **Lee, H.** Thermodynamic performance of R32/R152a mixture for water source heat pumps / H. Lee, H. Kim, D. Kang, D. Jung // Energy. – Vol. 40. – № 1. – 2012. – P. 100–106.

6 **Kalnin', I. M.** Issledovanie gazoohladitelej teplovyh nasosov na R744 // Holodil'naja tehnika i tehnologija [Research of gas coolers of heat pumps on R744 / I. V. Derevich, S. B. Pustovalov // Refrigeration equipment and technology] / № 11. – 2004. – P. 10–15.

7 **Bykov, A. V.** Ob jeffektivnosti termodinamicheskih ciklov na neazeotronnyh smesjah komponentov [On the efficiency of thermodynamic cycles on non-azeotron mixtures of components] / A. V. Bykov, I. M. Kalnin' // Holodil'naja tehnika [Refrigeration technology]. –1980. – № 12. – P. 11–20.

8 **Antanenkova, I. S.** Termodinamicheskaja jeffektivnost' teplonasosnyh ustanovok [Thermodynamic efficiency of heat pump installations] // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda [Bulletin of the International Academy of Refrigeration] / I. S. Antanenkova, A. A. Suhih. – 2013. – № 1. – P. 43–47.

9 **Suhih, A. A.** Metodika sravnenija termodinamicheskoj jeffektivnosti ciklov holodil'nyh i teplonasosnyh ustanovok [Methodology for comparing the thermodynamic efficiency of cycles of refrigeration and heat pump installations] / A. A. Suhih, I. S. Antanenkova // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda [Bulletin of the International Academy of Refrigeration]. – 2012. – № 4. – P. 21–25.

10 **Briganti, A.** Teplovye nasosy v zhilyh pomeshhenijah [Heat pumps in residential areas] / A. Briganti // AVOK. – № 5–6. – 2001.

Material received on 20.06.23.

*С. А. Орынбаев[1], А. Б. Токмолдаев[2], *Н. Ш. Абдлахатова[3], Л. Ф. Рибейро[4], Т. С. Жүсіп[5]*
[1,5]М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Тараз қ.;
[2,3]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[4]Браганс политехникалық институты,
Португалия Республикасы, Браганс қ.;
Энергетика, көлік және аэроғарыш өнеркәсібінің қауымдастырылған зертханасы-LAETA / INEGI, да ФЕУП кампусы, 4200-465,
Португалия Республикасы, Порту қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЖАМБЫЛ ОБЛЫСЫ МЫСАЛЫНДА, ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ГЕОТЕРМАЛДЫ КӨЗДЕРІМЕН, АУЫЛДЫҚ ЖЕРЛЕРДЕГІ ТҰТЫНУШЫЛАРДЫ ЖЫЛУМЕН ЖАБДЫҚТАУ

Мақалада Қазақстанның оңтүстігіндегі және Жамбыл облысының геотермалды суларына талдау берілген. Тұрмыстық және шаруашылық қажеттіліктер үшін геотермалды суды пайдаланудың әртүрлі түрлері мен әдістері қарастырылды. Осы біріктірілген энергетикалық жүйелерді әзірлеу, өндіру және сынау барысында жылу және ыстық сумен жабдықтау жүйелері үшін қайнау температурасы төмен оңтайлы жұмыс сұйықтығын таңдау сияқты бірқатар ғылыми-техникалық мәселелер шешілді. Қазіргі уақытта қолжетімді хладагенттер мен бу компрессорлық сұйықтықтарға шолу берілген. Сондықтан тұйық контурлы күштік жылу тізбегінің жұмыс сұйықтығы ретінде азеотропты емес бинарлы қоспаларды пайдалану ұсынылады. Екінші контур үшін жұмыс сұйықтығы ретінде хладагент қоспаларын пайдалану ұсынылады. Сонымен қатар хладагенттердің жалпы сипаттамалары берілген. Нәтижесінде жылу және ыстық сумен жабдықтау режимінде жұмыс істейтін бу-компрессорлық жылу сорғысының жұмыс схемасының сипаттамасы берілген.

Кілтті сөздер: жер асты сулары, геотермалдыкөздер, хладон, жылулық сорғы, пропан, сұйытылған көмірқышқыл газы.

**С. А. Орынбаев[1], А. Б. Токмолдаев[2], Н. Ш. Абдлахатова[3], Л. Ф. Рибейро[4], Т. С. Жүсіп[5]*
[1,5]Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, Республика Казахстан, г. Тараз;
[1,5]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Республика Казахстан, г. Алматы;
[4]Политехнический институт Брагансы, Республика Португалия, г. Браганса;
Ассоциированная лаборатория энергетики, транспорта и аэрокосмической промышленности – LAETA/INEGI, Кампус да ФЕУП, 4200-465, Республика Португалия, Порту.

ПОТЕНЦИАЛ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА, НА ПРИМЕРЕ ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ, ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

В статье приводится характеристика геотермальных месторождений юга Казахстана и анализ потенциала геотермальных вод Жамбылской области. Выполнен обзор различных видов и способов использования геотермальной воды для бытовых и хозяйственных нужд. Следовательно приведены сведения по термальным скважинам. В ходе разработки, изготовления и испытания данных комбинированных энергоблоков решен целый ряд научно-технических вопросов, таких как выбор оптимального низкокипящего рабочего тела для тепла и системы горячего водоснабжения. Произведен обзор по существующим на сегодняшний день хладагентов и парокомпрессионных жидкостей. Дана классификация и характеристика вторичных теплоносителей различных видов и температуры их использования. Следовательно в качестве рабочих тел закрытого теплосилового контура предложено использовать неазеотропные бинарные смеси.Более того проведен анализ по использованию неазеотропных смесей для тепловых насосов. В качестве рабочих тел для второго контура предлагается использовать смеси хладагентов. Далее приведены оновные характеристики хладагентов. В результате приводится описание схемы работы парокомпрессионного теплового насоса, работающего в режиме тепла и горячего водоснабжения.

Ключевые слова: подземные воды, геотермальные ресурсы, хладон, тепловой насос, пропан, сжиженный углекислый газ.

МРНТИ 20.53.19

https://doi.org/10.48081/GJDR9209

Н. Н. Оспанова[1], М. А. Мукушев[2], А. С. Аканова[3]
[1,2]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;
[3]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана
*e-mail: nazira_n@mail.ru

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассматривается разработка информационной системы выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов Павлодарской области. Введение системы позволит выбирать оптимальные характеристики строительных материалов, повышая экономическую эффективность и снижая негативное воздействие на окружающую среду. Статья содержит анализ основных технологий использования техногенных отходов в строительстве, обзор существующих баз данных характеристик строительных материалов и описание ключевых этапов разработки информационной системы. Результаты исследования показывают эффективность использования системы в выборе оптимальных характеристик строительных материалов на основе сравнительного анализа и оценки их свойств. Модель информационной системы выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов Павлодарской области представляет собой комплексное программное обеспечение, которое включает в себя все необходимые компоненты для анализа данных, прогнозирования и оптимизации производственных процессов. Данная модель имеет многоуровневой архитектуры. Разработка информационной системы для выбора оптимальных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов является актуальной задачей, которая может привести к уменьшению затрат на строительство, улучшению качества материалов и снижению влияния производства на окружающую среду.

Ключевые слова: информационная система, строительные материалы, техногенные отходы, экология, база данных, оптимальные характеристики.

Введение

Строительство является одной из ключевых отраслей экономики многих стран, но при этом она также является одним из крупнейших потребителей ресурсов и источников загрязнения окружающей среды. В свете растущей экологической осознанности и стремления к устойчивому развитию становится все более важной задачей разработка новых технологий и материалов, которые были бы экологически чистыми и эффективными.

Одним из способов достижения этой цели является использование техногенных отходов в производстве строительных материалов. Техногенные отходы – это материалы, которые образуются в процессе производства или потребления других продуктов, и которые могут быть использованы повторно в производстве строительных материалов. Использование таких отходов позволяет уменьшить количество отходов, которые иначе были бы отправлены на свалку, а также сократить потребление природных ресурсов и снизить затраты на производство.

Однако выбор оптимальных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов может быть сложной задачей, которая требует большого количества данных и анализа. Именно поэтому разработка информационной системы для выбора оптимальных характеристик является важной задачей.

Целью данной статьи является описание теоретических основ разработки информационной системы для выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов Павлодарской области.

Материалы и методы

Модель информационной системы выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов Павлодарской области представляет собой комплексное программное обеспечение, которое включает в себя все необходимые компоненты для анализа данных, прогнозирования и оптимизации производственных процессов. Она может быть представлена в виде многоуровневой архитектуры, состоящей из следующих компонентов:

1 База данных – центральный элемент модели, включающий в себя всю доступную информацию о характеристиках техногенных отходов, а также о строительных материалах, которые могут быть произведены из этих отходов. В базе данных также содержится информация о доступности и стоимости сырья, необходимого для производства этих материалов.

2 Модуль анализа данных – предназначен для сбора, обработки и анализа данных, связанных с производством строительных материалов из техногенных отходов. Он позволяет автоматически обрабатывать большие объемы данных и определять закономерности, которые могут быть использованы для улучшения производственных процессов.

3 Модуль прогнозирования – используется для прогнозирования потребностей в сырье, оценки возможной производительности и определения потенциальных рисков и угроз производственному процессу. Он также может предсказывать изменения в цене сырья и оценивать влияние этих изменений на производственный процесс.

4 Модуль оптимизации – позволяет оптимизировать производственный процесс, учитывая все имеющиеся данные. Он использует алгоритмы оптимизации для нахождения наилучших решений, которые максимизируют производительность и прибыльность производства при учете всех ограничений, связанных с производством и экологическими факторами.

5 Модуль визуализации – предназначен для визуализации данных и результатов анализа. Он позволяет пользователям увидеть результаты анализа в удобном и понятном виде, что облегчает принятие решений и планирование производственных процессов.

Все компоненты модели информационной системы тесно связаны между собой и взаимодействуют, обеспечивая комплексный подход к анализу данных и управлению производственным процессом.

Анализ существующих технологий использования техногенных отходов в строительстве

Использование техногенных отходов в строительстве имеет множество преимуществ. Одним из них является сокращение количества отходов, отправляемых на свалку. Кроме того, использование техногенных отходов может привести к экономической выгоде благодаря снижению затрат на производство материалов и увеличению их долговечности.

Одним из наиболее распространенных способов использования техногенных отходов в строительстве является их использование в качестве заполнителей в бетоне и асфальте. Например, зола, полученная в результате сжигания угля, может быть использована в качестве заполнителя в бетоне. Это позволяет уменьшить количество отходов, отправляемых на свалку, а также уменьшить затраты на производство бетона.

Также техногенные отходы могут использоваться в качестве основного материала для производства строительных блоков. Например, полистирол, полученный в результате переработки пластиковых отходов, может быть использован для производства теплоизоляционных блоков.

Обзор существующих баз данных характеристик строительных материалов.

Одним из ключевых элементов разработки информационной системы является наличие базы данных характеристик строительных материалов. Такие базы данных содержат информацию о свойствах материалов, таких как прочность, теплопроводность, удельный вес и др., которая может быть использована для выбора оптимальных характеристик материалов при их проектировании.

Существует несколько баз данных характеристик строительных материалов, таких как MatWeb, NIST Materials Data Repository, а также отдельные базы данных для отдельных строительных материалов, например, база данных характеристик бетона. Однако некоторые из этих баз данных могут быть ограничены в своей области применения, а также не содержать информации о характеристиках материалов с использованием техногенных отходов.

Отходы производства Павлодарской области, такие как зола, шлаки, золошлаковые материалы, и песчаники, могут использоваться для производства различных строительных материалов. Некоторые из возможных вариантов использования включают:

1 Производство цемента: зола и шлаки могут использоваться как добавки в цемент, улучшая его свойства, такие как прочность и устойчивость к агрессивным средам.

2 Производство кирпича: золошлаковые материалы могут использоваться в качестве добавок в глину для производства кирпичей, что приводит к снижению стоимости производства и снижению объема выбросов углекислого газа.

3 Производство асфальта: золошлаковые материалы и песчаники могут использоваться как добавки в асфальт для повышения его прочности и стойкости к износу.

4 Производство газобетона: золошлаковые материалы и песчаники могут использоваться для производства газобетона, что также приводит к снижению стоимости производства и снижению объема выбросов углекислого газа.

5 Производство керамических материалов: зола и шлаки могут использоваться как добавки в керамические материалы, улучшая их свойства и снижая стоимость производства.

Таким образом, использование отходов производства Павлодарской области в качестве сырья для производства строительных материалов может привести к экономической выгоде и снижению негативного влияния на окружающую среду.

Описание информационной системы для выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов

Разработка информационной системы для выбора оптимальных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов Павлодарской области включает в себя несколько этапов.

Первый этап – сбор и анализ данных о характеристиках строительных материалов с использованием техногенных отходов. Для этого необходимо провести исследование техногенных отходов Павлодарской области и производственных возможностей на местных предприятиях для получения информации о возможных их использованиях в строительстве.

Второй этап – разработка базы данных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов. Для этого необходимо использовать полученные данные и существующие базы данных характеристик материалов для создания новой базы данных, содержащей информацию о характеристиках материалов с использованием техногенных отходов.

Третий этап – разработка программного обеспечения для выбора оптимальных характеристик строительных материалов с использованием информации из базы данных. Для этого необходимо разработать алгоритмы выбора оптимальных характеристик, а также интерфейс для взаимодействия с пользователем.

Результаты и обсуждение

Обсуждение результатов исследования и примеры использования информационной системы

Использование информационной системы для выбора оптимальных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов может привести к уменьшению затрат на строительство, улучшению качества строительных материалов, а также снижению негативного влияния производства на окружающую среду.

Примером использования информационной системы может служить выбор оптимальных характеристик бетона с использованием техногенных отходов из производства алюминия в Павлодарской области. Информационная система позволит выбрать оптимальное сочетание характеристик, таких как прочность, плотность, теплопроводность, в зависимости от требований к конкретному проекту и наличных техногенных отходов.

Обзор аналогов

Одним из примеров аналогов системы выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов является проект Eco-Binder, который разрабатывается в Испании. Система Eco-Binder использует отходы от производства жидкого стекла в качестве добавки в цемент, что позволяет увеличить прочность и устойчивость к воде, уменьшить затраты на производство цемента и снизить углекислый газ, выбрасываемый при его производстве.

Плюсы системы Eco-Binder:

- Снижение затрат на производство цемента.
- Снижение выбросов углекислого газа в процессе производства.
- Увеличение прочности и устойчивости к воде строительных материалов.

Минусы системы Eco-Binder:

- Ограниченность в использовании конкретных видов отходов, таких как отходы от производства жидкого стекла.
- Необходимость проведения дополнительных исследований и испытаний для подтверждения качества и безопасности строительных материалов.

Другим примером аналогов является проект ECO-Cem в Индии. Эта система использует отходы от производства меди в качестве добавки в цемент, что позволяет уменьшить затраты на производство цемента и снизить выбросы углекислого газа.

Плюсы системы ECO-Cem:

- Снижение затрат на производство цемента.
- Снижение выбросов углекислого газа в процессе производства.

Минусы системы ECO-Cem:

- Ограниченность в использовании конкретных видов отходов, таких как отходы от производства меди.
- Необходимость проведения дополнительных исследований и испытаний для подтверждения качества и безопасности строительных материалов.

Еще один аналог системы выбора характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов – это система, разработанная инженерами из университета Джорджии (США) под названием «Integrated Waste Management System» (IWMS).

Преимуществом IWMS является интеграция различных компонентов управления отходами, таких как сбор, обработка, переработка и утилизация, что позволяет улучшить эффективность и снизить затраты на управление отходами. Кроме того, система IWMS предлагает подробный анализ качества отходов и возможностей их переработки, что позволяет оптимизировать процесс выбора характеристик строительных материалов.

Однако, недостатком IWMS является то, что система сконцентрирована на управлении отходами, а не на выборе характеристик строительных материалов. Также, применение IWMS может быть затруднено в некоторых регионах мира из-за ограниченной инфраструктуры для обработки отходов.

Еще одним аналогом может быть система «Waste Management System» (WMS), разработанная компанией Indaver (Бельгия). Она предлагает комплексный подход к управлению отходами, включая сбор, переработку и

утилизацию. WMS также предлагает возможность анализа качества отходов, что может быть полезным при выборе характеристик строительных материалов.

Однако, недостатком WMS является ограничение в выборе материалов, которые могут быть произведены из техногенных отходов. Кроме того, применение WMS может быть затруднено из-за высоких затрат на инфраструктуру и оборудование для обработки и переработки отходов.

Выводы

Разработка информационной системы для выбора оптимальных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов является актуальной задачей, которая может привести к уменьшению затрат на строительство, улучшению качества материалов и снижению влияния производства на окружающую среду.

Для разработки такой системы необходимо провести исследование техногенных отходов, создать базу данных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов и разработать программное обеспечение для выбора оптимальных характеристик.

Пример использования информационной системы может служить выбор оптимальных характеристик бетона с использованием техногенных отходов из производства алюминия в Павлодарской области.

Информационная система для выбора оптимальных характеристик строительных материалов с использованием техногенных отходов является важным инструментом для развития устойчивого строительства. Она позволит не только выбирать материалы, соответствующие требованиям проекта, но и использовать техногенные отходы как альтернативный источник сырья, что способствует снижению негативного влияния производства на окружающую среду.

Список использованных источников

1 **Васильев, Н. А.** Справочник по химии и химической технологии. – М. : Химия, 2009.

2 **Антонов, А. В., Галкин, А. С.** Отходы производства как сырье для строительных материалов // Строительство и архитектура. – 2015. – № 5(28). – С. 54–57.

3 **Маркова, О. М.** Перспективы использования техногенных отходов в строительстве // Наука и техника в действии. – 2018. – № 3(7). – С. 19–25.

4 Правительство Республики Казахстан. Кодекс Республики Казахстан об окружающей среде и ее охране. – Астана, 2007.

5 **Сафин, Р. Р.** Моделирование процессов переработки техногенных отходов в строительных материалах. // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2016. – №3(19). – С. 88–92.

6 **Сухомлинов, А. И.** Разработка информационных систем. Учебное пособие. – М. : Проспект. – 2017. – 112 с.

7 **Белов, В. В.** Проектирование информационных систем : учебник для вузов / В. В. Белов, В. И. Чистякова ; под ред. В. В. Белова. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2015. – 352 с.

8 **Советов, Б. Я.** Методы и средства проектирования информационных систем и технологий : учебник для вузов / Б. Я. Советов, В. А. Дубенецкий, В. В. Цехановский. – М. : Академия, 2018. – 349 с.

9 **Советов, Б. Я.** Представление знаний в информационных системах : учебник для вузов по напр. «Информационные системы и технолоии» / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. – М. : Академия, 2011. – 143 с.

10 **Арынова, Ш. Ж.** Мониторинг окружающей среды : учебное пособие / Ш. Ж. Арынова, И. Ю. Чидунчи. – Павлодар : Кереку, 2019. – 120 с.

1 **Vasilev, N. A.** Spravochnik po himii i himicheskoi tehnologii [Handbook of Chemistry and Chemical Technology]. – Moscow : Himiya, 2009.

2 **Antonov, A. V., Galkin A. S.** Othody proizvodst va kak syre dlya stroitelnyh materialov // Stroitelstvo i arhitektura [Production waste as a raw material for building materials // Construction and Architecture]. – 2015. – №5(28). – P. 54–57.

3 **Markova, O. M.** Perspektivy ispolzovaniya tehnogennyh othodov v stroitelstve [Prospects for the use of technogenic waste in construction] // Nauka i tehnika v deistvii [Science and technology in action]. – 2018. – №3(7). – P. 19–25.

4 Pravitelstvo Respubliki Kazahstan. Kodeks Respubliki Kazahstan ob okrujayuщei srede i ee ohrane [Government of the Republic of Kazakhstan. Code of the Republic of Kazakhstan on Environmental Protection and Its Protection]. – Astana, 2007.

5 **Safin, R. R.** Modelirovanie protsessov pererabotki tehnogennyh othodov v stroitelnyh materialah [Modeling of processes for processing technogenic waste into building materials] // İnformatsionnye tehnologii i vychislitelnye sistemy [Information Technologies and Computing Systems]. – 2016. – №3(19). – P. 88–92.

6 **Suhomlinov, A. I.** Razrabotka informacionnyh sistem : Uchebnoe posobie [Development of information systems : Tutorial]. – Moscow : Prospekt, 2017. – 112 p.

7 **Belov, V. V.** Proektirovanie informacionnyh sistem : uchebnik dlya vuzov / V. V. Belov, V. I. Chistyakova; pod red. V. V. Belova. [Designing information systems : a textbook for universities / V. V. Belov, V. I. Chistyakova] – 2-e izd., ster. – Moscow : Akademiya, 2015. – 352 p.

8 **Sovetov, B. Ya.** Metody i sredstva proektirovaniya informacionnyh sistem i tekhnologij : uchebnik dlya vuzov / B. Ya. Sovetov, V. A. Dubeneckij, V. V. Cekhanovskij [Methods and means of designing information systems and

technologies: a textbook for universities / B. Ya. Sovetov, V. A. Dubenetsky, V. V. Tsekhanovsky]. – Moscow : Akademiya, 2018. – 349 p.

9 **Sovetov, B. Ya.** Predstavlenie znanij v informacionnyh sistemah : uchebnik dlya vuzov po napr. «Informacionnye sistemy i tekhnoloii» / B. Ya. Sovetov, V. V. Cekhanovskij, V. D. Chertovskoj. [Representation of knowledge in information systems : a textbook for universities, for example. «Information systems and technologies» / B. Ya. Sovetov, V. V. Tsekhanovsky, V. D. Chertovskoy]. – Moscow : Akademiya, 2011. – 143 p.

10 **Arynova, Sh. Zh.** Monitoring okruzhayushchej sredy : uchebnoe posobie / Sh. Zh. Arynova, I. Yu. Chidunchi [Monitoring of the environment : textbook / Sh. Zh. Arynova, I. Yu. Chidunchi]. – Pavlodar : Kereku, 2019. – 120 p.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**Н. Н. Оспанова[1], М. А. Мукушев[2], А.С. Аканова[3]*
[1,2]Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;
[3]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНЫҢ ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛДЫҚТАРЫН ПАЙДАЛАНАТЫН ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН ТАҢДАУДЫҢ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Мақалада Павлодар облысының техногендік қалдықтарын пайдалана отырып, құрылыс материалдарының сипаттамаларын таңдаудың ақпараттық жүйесін әзірлеу мәселелері қарастырылады. Жүйені енгізу құрылыс материалдарының оңтайлы сипаттамаларын таңдауға, экономикалық тиімділікті арттыруға және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға мүмкіндік береді. Мақалада техногендік қалдықтарды құрылыста пайдаланудың негізгі технологияларының талдауы, құрылыс материалдарының сипаттамаларының қолданыстағы деректер базасына шолу және ақпараттық жүйені дамытудың негізгі кезеңдерінің сипаттамасы берілген. Зерттеу нәтижелері салыстырмалы талдау және олардың қасиеттерін бағалау негізінде құрылыс материалдарының оңтайлы сипаттамаларын таңдауда жүйені пайдаланудың тиімділігін көрсетеді. Павлодар облысының техногендік қалдықтарын пайдаланатын құрылыс материалдарының сипаттамаларын

таңдаудың ақпараттық жүйесінің моделі деректерді талдау, болжау және өндірістік процестерді оңтайландыру үшін барлық қажетті компоненттерді қамтитын кешенді бағдарламалық қамтамасыз ету болып табылады. Бұл модель көп деңгейлі архитектураға ие. Техногендік қалдықтарды пайдалана отырып, құрылыс материалдарының оңтайлы сипаттамаларын таңдаудың ақпараттық жүйесін әзірлеу құрылыс құнын төмендетуге, материалдардың сапасын жақсартуға және өндірістің қоршаған ортаға әсерін азайтуға әкелуі мүмкін кезек күттірмейтін міндет болып табылады.

Кілтті сөздер: ақпараттық жүйе, құрылыс материалдары, өндірістік қалдықтар, экология, мәліметтер базасы, оңтайлы сипаттамалар.

**N. N. Ospanova[1], M. A. Mukushev[2], A. S. Akanova[3]*
[1,2]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;
[3] S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana.
Material received on 20.06.23.

DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM FOR THE SELECTION OF CHARACTERISTICS OF BUILDING MATERIALS USING MAN-MADE WASTE OF PAVLODAR REGION

The article discusses the development of an information system for selecting the characteristics of building materials using man-made waste from the Pavlodar region. The introduction of the system will allow choosing the optimal characteristics of building materials, increasing economic efficiency and reducing the negative impact on the environment. The article contains an analysis of the main technologies for the use of man-made waste in construction, a review of existing databases of the characteristics of building materials and a description of the key stages in the development of an information system. The results of the study show the effectiveness of using the system in choosing the optimal characteristics of building materials based on a comparative analysis and evaluation of their properties. The model of the information system for selecting the characteristics of building materials using man-made waste from the Pavlodar region is a complex software that includes all the necessary components for data analysis, forecasting and optimization of production processes. This model has a multi-level architecture. The development

of an information system for selecting the optimal characteristics of building materials using man-made waste is an urgent task that can lead to a reduction in construction costs, improve the quality of materials and reduce the impact of production on the environment.

Key words: information system, building materials, industrial waste, ecology, database, optimal characteristics.

МРНТИ 44.31.31

https://doi.org/10.48081/KBQY4184

***Б. К. Рахадилов[1], М. К. Даутбеков[2] , Л. Г. Журерова[3]**
О. А. Степанова[4], А. М. Акаев[5]
[1]ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;
[2,5]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;
[3]Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;
[4]Университет имени Шакарима, Республика Казахстан, г. Семей
*e-mail: merkhatd@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ДЕТАЛЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЙ

В настоящей статье изложены результаты исследования покрытий Cr_3C_2-NiCr нанесенных детонационным способом напыления на образцах теплоустойчивой стали 12Х1МФ (DIN 14MoV63). Для проведения эксперимента была выбрана детонационная пушка с одним дозатором. Детонационное напыление - это один из способов термического напыления, известный своей способностью создавать твердые, износостойкие и плотные микроструктурированные покрытия. В качестве газового топлива была использована смесь ацетилена и кислорода, которая является наиболее распространенным выбором при детонационном напылении порошковых материалов. После каждой детонации ствол был продувался импульсом азота или воздуха. Проведены экспериментальные исследования взаимосвязи между технологическими параметрами процесса нанесения покрытия и получаемой микроструктурой и свойствами покрытий в зависимости от режима работы детонационной пушки. Выявлено, что при детонационном напылении структурно-фазовый состав и трибологические свойства наносимого покрытия меняется в зависимости от степени заполнения ствола газовой смесью C_2H_2/C_3H_8. Методом рентгеноструктурного анализа получены результаты влияния параметров процесса на микроструктуру и свойства покрытий, согласно которым были установлены фазы Cr_3C_2, Cr_7C_3, Cr_3O_4, Cr_2O_3, $Cr_{23}C_6$ и $CrNi_3$, определены физические характеристики покрытия как микротвердость, шероховатость и трибологические свойства.

Ключевые слова: теплоэнергоцентраль, поверхности нагрева котла, Cr_3C_2-NiCr, детонационное напыление, сталь 12Х1МФ.

Введение

В докладе Министра энергетики на заседании Правительства Республики Казахстан от 20 декабря 2022 года, а также информации в работе [1] сказано, что средний износ оборудования Теплоэнергоцентралей в Республике Казахстан составил 66 %, средний срок эксплуатации – 61 год. При этом, согласно Приказу Министра энергетики Республики Казахстан от 20 января 2023 года № 20 «Об утверждении прогнозных балансов электрической энергии и мощности на 2023–2029 годы» планируется увеличение производства электроэнергии к 2029 году на 9 % по сравнению с 2023 годом. По ежеквартальным отчетам АО «Казахстанский оператор рынка электрической энергии и мощности», в Казахстане более 79 % электроэнергии вырабатывается угольными тепловыми станциями. В связи с этим, в настоящее время актуальным остается вопрос повышения надежности и долговечности изделий, эксплуатационные характеристики которых определяются свойствами их рабочих поверхностей.

В работах [2,3,4] сказано, что некоторые детали тепловых станций возможно могут быть использованы для последующей эксплуатации, при том что установленный срок службы выработан.

Ранее спроектированные тепловые станции в Казахстане были предназначены для определенных сортов твердого топлива. Однако, в последнее время на тепловых станциях все чаще используется непроектный уголь, на который не проводились тепловые расчеты оборудования. Использование непроектного угля приводит к более интенсивному разрушению основного и вспомогательного оборудования [5–6].

В процессе горения сера и натрий вступают в реакцию, образуя Na_2SO_4, а ванадий соединяется с кислородом, образуя V_2O_5 и золовые отложения. Эти отложения могут повредить защитный оксидный слой и вызвать горячую коррозию. Чтобы избежать этого, материал в энергетических установках тепловых станций можно заменить на более устойчивые сплавы или на его поверхность можно нанести специальные покрытия, устойчивые к Na_2SO_4 [6,7].

Нанесение на поверхности изделий функциональных покрытий с применением различных методов напыления является одним из наиболее

эффективных способов улучшения эксплуатационных свойств и продления их срока службы [8].

Среди разных видов покрытий, покрытия из порошка Cr_3C_2–NiCr наиболее широко используются для снижения износа при высоких температурах (500–900 °C) и в агрессивных средах благодаря своей превосходной окислительной и коррозионной стойкости [9,10]. В дополнение к этим особенностям коэффициент теплового расширения Cr_3C_2 (10,3×10-6 °C-1) почти такой же, как у железа (11,4×10-6 °C-1) и никеля (12,8×10-6 °C-1), составляющие основу большинства жаропрочных сплавов.

Нанесение покрытий из порошка Cr_3C_2-NiCr можно выполнять с помощью разных методов газотермического напыления, в том числе такие как HVOF, холодное газодинамическое напыление, детонационное напыление, атмосферное плазменное напыление и другие. Покрытие Cr_3C_2-NiCr, полученное методом детонационного напыления значительно уменьшает интенсивность эррозионно-коррозионных процессов и окисления. Это может быть связано с образованием оксидной пленки Cr_2O_3. Определено влияние Cr_2O_3 на окислительно-эрозионные свойства котельных сталей, так как образование богатой оксидом Cr_2O_3 пленки способствует лучшему сопротивлению котельной стали к окислению и эрозии [11].

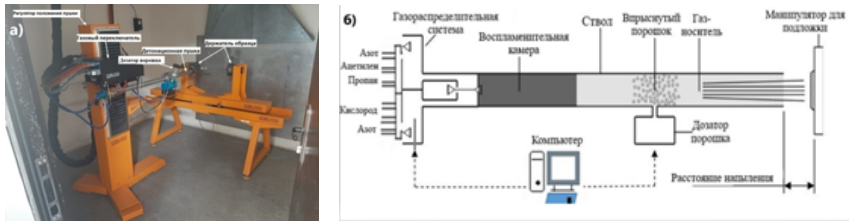
Детонационное напыление является одним из методов газотермического напыления покрытий, который осуществляется с помощью специальной детонационной пушки [12].

Данная статья направлена на исследование воздействия технологических параметров процесса детонационного напыления на фазовый состав, твердость и трибологические свойства покрытий, созданных на основе Cr_3C_2-NiCr, которые могут быть применены на поверхностях деталей, используемых в энергетическом оборудовании тепловых станций.

Материалы и методы

Данная работа содержит результаты экспериментальных исследований, проведенных с покрытиями из порошка Cr_3C_2-NiCr, нанесенными с помощью детонационного комплекса CCDS2000, который обладает системой электромагнитных газовых клапанов [13].

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



a) b)

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

В результате детонации во взрывчатой смеси образуется детонационная волна, которая затем переходит в ударную волну. Продукты детонации (нагретые до 3500–4500 К) и газа-носителя (нагретый ударной волной до 1000–1500 К) движутся со сверхзвуковой скоростью к выходу из ствола детонационной пушки.

Диаметр прямого ствола используемого детонационного комплекса составляет 20 мм. В качестве газа-носителя использовался азот (N). В качестве напыляемого материала использовали композитный порошок фирмы H.C. Starck: 584.054 Cr_3C_2-NiCr (75 % / 25 %) с размером частиц порошка 10–45 мкм. [14,15].

В качестве образца для подложки была выбрана сталь теплоустойчивая 12Х1МФ (DIN 14MoV63), используемая для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии в течение длительного времени.

Химический состав стали 12Х1МФ (DIN 14MoV63) по стандарту ГОСТ 20072-74 (DIN 17175): C(0.10–0.18); Si (0.15–0.35); Mn(0.30–0.60); Ni(до 0.3); S(до 0.035); P(до 0.035); Cr(0.9–1.2); Mo(0.50–0.65); V(0.25–0.35); Cu(до 0.2).

Для напыления было выбрано соотношение C_2H_2/C_3H_8=1,026. По мере увеличения объема взрывчатой смеси (от 61 до 73 % от объема ствола) увеличивается температура, до которой частицы нагреваются во время движения внутри ствола [15]. Режимы, при которых получены покрытия на основе Cr_3C_2-NiCr показаны в таблице 1.

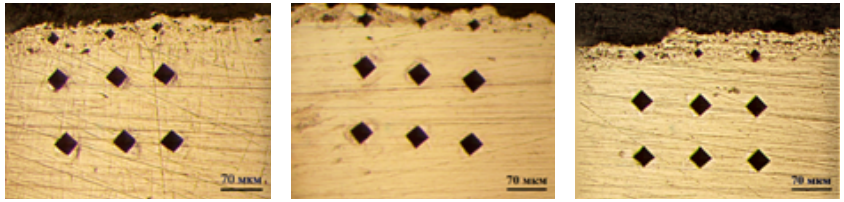
Таблица 1 – Технологические параметры получения покрытий Cr_3C_2-NiCr

Номер образца	Отношение C_2H_2/C_3H_8	Объем заполнения ствола, %	Дистанция напыления, мм	Количество выстрелов
№1	1,026	61	150	20
№2		67		
№3		73		

Дифракционные исследования образцов выполнялись с использованием традиционных методов рентгеновской дифракции (РДА), а именно, анализ угловых положений, интенсивностей и профилей дифракционных отражений методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре X'PertPRO. Съемку дифрактограмм проводили с использованием CuKα-излучении (λ= =1.5418Aº) при напряжении в трубке U=40кВ; ток трубки I=30 мА время экспозиции 1 с; шаг съемки 0,02º. Расшифровка полученных результатов проводилась с помощью программы HighScore. Шероховатость поверхности покрытий оценивалась с использованием параметра Ra по стандарту ГОСТ 2789-73 (DIN 4768) с помощью профилометра модели 130 на отрезке длиной 7 мм на поверхности образца. Микротвёрдость образцов измерялась в соответствии с ГОСТ 9450-76 (ASTM E384-11) по методу Виккерса на микротвердомере «Метолаб-502», при нагрузках на индентор 1Н и времени выдержки 10 с. Трибологические испытания на трение и скольжение проводили на трибометре TRB3 с использованием стандартной методики «шар-диск» (стандарты ASTM G 133-95 и ASTM G 99). В качестве контртела использовался шарик диаметром 6.0 мм из стали ШХ15. Испытание проводилось при нагрузке 10 Н и линейной скорости 2 см/с, радиусом кривизны износа 3 мм, путь трения составил 22 м.

Результаты и их обсуждения

В результате экспериментальных работ были получены микроснимки поперечных сечений образцов на основе Cr_3C_2-NiCr с помощью металлографического микроскопа модели Альтами МЕТ 5S, фотографии которых представлены на рисунке 2.



a) b) c)

Рисунок 2 – Микроснимки попереного сечения:
a) образец № 1, b) образец № 2, c) образец № 3

Микроснимки поперечного сечения детонационного покрытия на основе Cr_3C_2-NiCr демонстрировали чистую, высокую плотность покрытий на границе раздела подложки. Результаты микроснимков показали образование слоисто-пористой структуры покрытий толщиной 30–65 мкм и отсутствие на границе раздела пор и трещин.

Микротвердость равномерно распределена по толщине подложки. Средняя микротвердость покрытий на основе Cr_3C_2-NiCr получились следующим образом: образец № 1 – 1208 HV, образец № 2 – 1339 HV и образец № 3 – 1076 HV.

Поверхности покрытий оценены по результатам измерения шероховатости покрытий, полученных на основе Cr_3C_2-NiCr и приведены на рисунке 3.

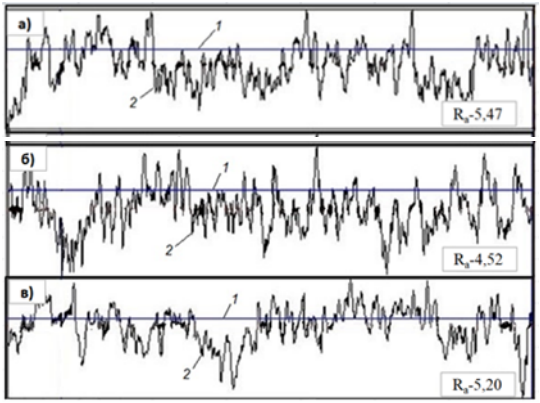


Рисунок 3 – Шероховатость покрытий на основе Cr_3C_2-NiCr образца № 1 (а), образца № 2 (б), образца № 3 (в).
Ra: а – 5.47; б – 4.52; в – 5.20; 1 – Средняя линия профиля;
2 – Профиль шероховатости

Поверхности всех покрытий имеют неоднородную слоистую структуру с порами и волнообразным расположением структурных составляющих. Для измерения шероховатости поверхности был выбран параметр Ra, который определяется как средняя высота пиков и впадин профиля шероховатости относительно базовой плоскости на определенной длине выборки. Параметр шероховатости покрытий Ra образцов № 1, № 2 и № 3, имеет разные значения такие как – Ra=5.47, Ra=4.52 и Ra=5.20 соответственно. Это может быть обусловлено различием воздействия ударной волны, что вызывает уплотнение покрытия.

На рисунке 4 представлены результаты рентгенограммы покрытия. Во всех образцах покрытий были обнаружены фазовые составляющие, такие как Cr_3C_2, Cr_3O, Cr_2O_3 и $Cr_{23}C_6$. Однако, из приведенных ниже рисунков видно, что интенсивность этих фазовых составов меняется в зависимости от степени заполнения ствола (Рис. 4). Сочетание твердых фаз оксида хрома и карбида

хрома значительно повышает износостойкость получаемого покрытия. А при заполнения ствола в 61 % происходит увеличение интенсивности карбидных фаз.

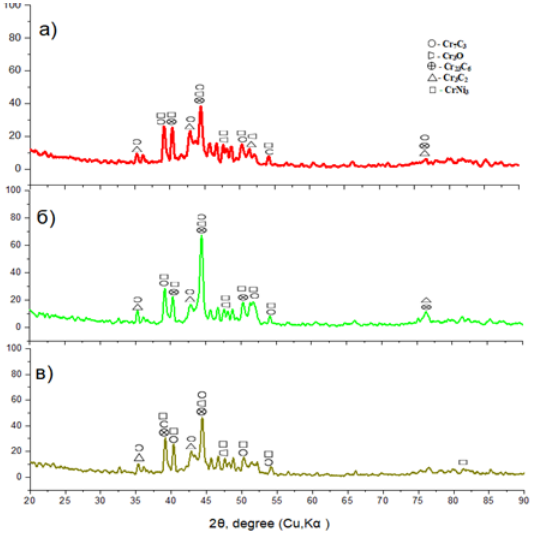


Рисунок 4 – Дифрактограммы покрытий Cr_3C_2-NiCr:
(а) образец № 1, (б) образец № 2, (в) образец № 3

К примеру, в образце №3 на дифрактограммах наблюдается уменьшение интенсивности фаз Cr_3C_2 (ICDD/JCPDS № 96-154-0071), $CrNi_3$ (ICDD/JCPDS № 96-152-5115), $Cr_{23}C_6$ (ICDD/JCPDS № 96-210-7333). Как правило, больший объем заполнения приводит к более высокой температуре внутри ствола во время процесса термического напыления. Это связано с тем, что больший объем материала генерирует больше тепла из-за большего количества энергии, передаваемой материалу. В результате температура внутри ствола может повышаться и температура в зоне реакции может достигнуть до 3000–4000 °С в зависимости от расстояния ствола детонационной пушки до подложки.

Ниже приведены графики коэффициента трения покрытия (рис.5). Все покрытия имеют коэффициент трения в интервале 0,08–0,41.

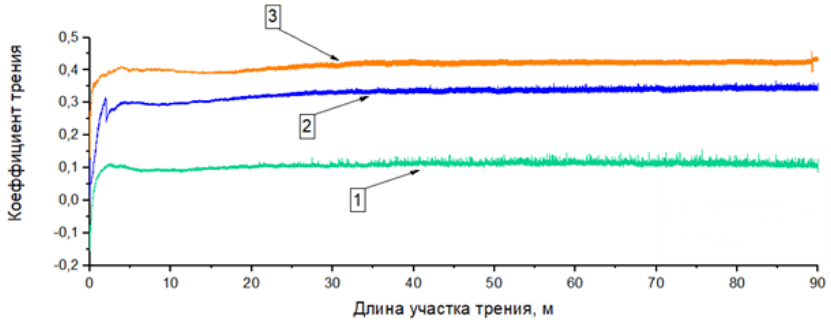


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения от длины участка трения покрытий Cr_3C_2-NiCr образца № 1 (1), образца № 2 (2), образца № 3 (3)

Кривые коэффициента трения полученных покрытий, в начале процесса испытания (до наработки) имеют скачки. Возможно, это связано с тем, что покрытия имели высокие значения шероховатости (Ra =4,52 до 5,47).

Информация о финансировании

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан № AP09261164 «Повышение стойкости стальных элементов котлов теплоэлектростанции к коррозионному и эрозионному износу».

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- Получены детонационные покрытия на поверхности теплоустойчивой стали 12Х1МФ (DIN 14MoV63) на основе Cr_3C_2 –NiCr;
- Установлено что основными структурными составляющими полученных покрытий являются: Cr_3C_2, Cr_3O_4, Cr_2O_3, $Cr_{23}C_6$ и $CrNi_3$;
- На основе трибологических и механических испытаний определено, что в зависимости от заполнения ствола, покрытия имеют следующие характеристики: разные значения коэффициента трения в интервале 0,08–0,41; микротвердость от 1076HV до 1339HV; значение шереховатости Ra от 4,52 до 5,47. Данные экспериментальные результаты показали, что в зависимости от технологических режимов детонационного напыления можно получать покрытия с необходимыми свойствами.

Список используемых источников

1 «KAZENERGY» [Text] // Информ.-аналит. журн. Учредитель и издатель ТОО «ENERGY FOCUS» – 2021, ноябрь –. – двухмес. – 2021. – №6.

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

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

4 **Galetz, M. C., Bauer, J. T., Schütze, M. et al.** Resistance of Coatings for Boiler Components of Waste-to-Energy Plants to Salt Melts Containing Copper Compounds [Text] // Therm Spray Tech. – 22. – 2013. – P.828–837. – doi.org/10.1007/s11666-013-9908-9.

5 **Shi, Y. et al.** On-line monitoring of ash fouling and soot-blowing optimization for convective heat exchanger in coal-fired power plant boiler [Text] // Applied Thermal Engineering. – V. 78. – 2015. – P. 39–50. – ISSN 1359-4311. – https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.002.

6 **Балтян, В. Н., Ефимов, Н. Н., Цхяев, А. Д.** К вопросу модернизации котельного оборудования угольных ТЭС [Text] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2017. – № 1. – ISSN 1560-3644. – https://doi.org/10.17213/0321-2653-2017-1-50-53.

7 **Heng, Ch., Jian, J., Peiyuan, Pan., Qinxin, Zh., and Yungang, W.** Deposit Formation of the Low-Pressure Economizer in a Coal-Fired Thermal Power Plant [Text] // Energy & Fuels. – 2017. – 31(5). – P. 4791–4798. – https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03507.

8 **Buitkenov, D. B., Rakhadilov, B. K., Sagdoldina, Zh. B., Erbolatuly, D.** Reserach of the mechanic-tribological characteristics of Ti_3SiC_2/TiC coatings after annealing [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2020. – № 4 (1). – P. 86–92.

9 **Bhatia, R., Singh, H. & Sidhu, B.S.** Hot Corrosion Studies of HVOF-Sprayed Coating on T-91 Boiler Tube Steel at Different Operating Temperatures. [Text] // J. of Materi Eng and Perform. – 23. – P. 493–505. – 2014. – https://doi.org/10.1007/s11665-013-0771-0.

10 **Dautbekov, M.K., Rakhadilov, B.K., Zhurerova, L.G. et al.** A Technology for Making Detonation Coatings on Power Equipment Parts Made of Grade 12Kh1MF Steel [Text] // Therm. Eng. – 69. – P. 989–995. – 2022. – https://doi.org/10.1134/S0040601522120011.

11 **Shukla, V. N., Harshit, Trivedi, Hemant, Kumar etc.** Surface engineering analysis of d-gun sprayed cermet coating in aggressive environment [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2017. – V. 4. – P. 10212–10215.

12 **Kilic, M., Ozkan, D., Gok, M. S., Karaoglanli, A. C.** Room- and high temperature wear resistance of MCrAlY coatings deposited by detonation gun

(D-gun) and supersonic plasma spraying (SSPS) techniques [Text] // Coatings. – 2020. – 10. – 1107. – https://doi.org/10.3390/coatings10111107.

13 **Rakhadilov, B. K., Buitkenov, D. B., Tuyakbaev, B. T., Sagdoldina, Zh. B., Kenesbekov, A. B.** Structure and properties of detonation coatings based on titanium carbosilicide [Text] // Key Eng. Mater. – 2019. – 821. – P. 301–306.

14 **Ulianitsky, V. Y., Dudina, D. V., Shtertser, A. A., Smurov, I.** Computer-Controlled Detonation Spraying : Flexible Control of the Coating Chemistry and Microstructure [Text] // Metals. – 2019. – 9. – 1244. – https://doi.org/10.3390/met9121244.

15 **Kakimzhanov, D.N., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Yu., Dautbekov, M. K.** Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr_3C_2-NiCr coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 5(1). – https://doi.org/10.32523/ejpfm.2021050106.

References

1 “KAZENERGY” [Text]: inform.-analyt. zhurn./ uchreditel’ i izdatel’ TOO ENERGY FOCUS [Information and analytical magazine “KAZENERGY”] - 2021, November - two months - 2021, No. 6

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

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

4 **Galetz, M. C., Bauer, J. T., Schütze, M. et al.** Resistance of Coatings for Boiler Components of Waste-to-Energy Plants to Salt Melts Containing Copper Compounds [Text] // Therm Spray Tech. – 22. – 2013. – P.828–837. – doi.org/10.1007/s11666-013-9908-9.

5 **Shi, Y. et al.** On-line monitoring of ash fouling and soot-blowing optimization for convective heat exchanger in coal-fired power plant boiler [Text] // Applied Thermal Engineering. – V. 78. – 2015. – P. 39–50. – ISSN 1359-4311. – https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.002.

6 **Baltyan, V. N., Efimov, N. N., Tskhyaev, A. D.** «K voprosu modernizacij kotel’nogo oborudovaniya ugol’nykh TETs» [On the issue of modernization of boiler equipment of coal-fired thermal power plants] [Text] // News of Higher Education Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences. – 2017. – No. 1. – ISSN 1560-3644. – https://doi.org/10.17213/0321-2653-2017-1-50-53

7 **Heng, Ch., Jian, J., Peiyuan, Pan., Qinxin, Zh., and Yungang, W.** Deposit Formation of the Low-Pressure Economizer in a Coal-Fired Thermal

Power Plant [Text] // Energy & Fuels. – 2017. – 31(5). – P. 4791–4798. – https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03507.

8 **Buitkenov, D. B., Rakhadilov, B. K., Sagdoldina, Zh. B., Erbolatuly, D.** Reserach of the mechanic-tribological characteristics of Ti_3SiC_2/TiC coatings after annealing [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2020. – № 4 (1). – P. 86–92.

9 **Bhatia, R., Singh, H. & Sidhu, B.S.** Hot Corrosion Studies of HVOF-Sprayed Coating on T-91 Boiler Tube Steel at Different Operating Temperatures. [Text] // J. of Materi Eng and Perform. – 23. – P. 493–505. – 2014. – https://doi.org/10.1007/s11665-013-0771-0.

10 **Dautbekov, M.K., Rakhadilov, B.K., Zhurerova, L.G. et al.** A Technology for Making Detonation Coatings on Power Equipment Parts Made of Grade 12Kh1MF Steel [Text] // Therm. Eng. – 69. – P. 989–995. – 2022. – https://doi.org/10.1134/S0040601522120011.

11 **Shukla, V. N., Harshit, Trivedi, Hemant, Kumar etc.** Surface engineering analysis of d-gun sprayed cermet coating in aggressive environment [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2017. – V. 4. – P. 10212–10215.

12 **Kilic, M., Ozkan, D., Gok, M. S., Karaoglanli, A. C.** Room- and high temperature wear resistance of MCrAlY coatings deposited by detonation gun (D-gun) and supersonic plasma spraying (SSPS) techniques [Text] // Coatings. – 2020. – 10. – 1107. – https://doi.org/10.3390/coatings10111107.

13 **Rakhadilov, B. K., Buitkenov, D. B., Tuyakbaev, B. T., Sagdoldina, Zh. B., Kenesbekov, A. B.** Structure and properties of detonation coatings based on titanium carbosilicide [Text] // Key Eng. Mater. – 2019. – 821. – P. 301–306.

14 **Ulianitsky, V. Y., Dudina, D. V., Shtertser, A. A., Smurov, I.** Computer-Controlled Detonation Spraying : Flexible Control of the Coating Chemistry and Microstructure [Text] // Metals. – 2019. – 9. – 1244. – https://doi.org/10.3390/met9121244.

15 **Kakimzhanov, D.N., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Yu., Dautbekov, M. K.** Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr_3C_2-NiCr coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 5(1). – https://doi.org/10.32523/ejpfm.2021050106.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

Б. К. Рахадилов[1], М. К. Даутбеков[2] , Л. Г. Журерова[3], О. А. Степанова[4], А. М. Акаев[5]
[1]«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;
[2,5]Д. Серикбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

[3]С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;
[4]Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЖЫЛУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ БӨЛІКТЕРІНЕ ДЕТОНАЦИЯЛЫҚ БҮРКУ АРҚЫЛЫ ЖАБЫНДАРДЫ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Бұл мақалада 12Kh1MF (DIN 14MoV63) ыстыққа төзімді болат үлгілеріне детонациялық бүрку арқылы қолданылатын Cr_3C_2-NiCr жабындарын зерттеу нәтижелері берілген. Детонациялық қондырғының жұмыс режиміне байланысты қаптау процесінің технологиялық параметрлері мен нәтижесінде жабындардың микроқұрылымы мен қасиеттері арасындағы байланысты эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Детонациялық бүрку кезінде бөшкені C_2H_2/C_3H_8 газ қоспасымен толтыру дәрежесіне байланысты қолданылатын жабынның құрылымдық-фазалық құрамы мен трибологиялық қасиеттері өзгеретіні анықталды. Процесс параметрлерінің жабындардың микроқұрылымы мен қасиеттеріне әсер ету нәтижелері рентгендік дифракциялық талдау арқылы алынды, оған сәйкес Cr_3C_2, Cr_7C_3, Cr_3O_4, Cr_2O_3, $Cr_{23}C_6$ және $CrNi_3$ фазалары анықталды, жабынның физикалық сипаттамалары анықталды. микроқаттылық, кедір-бұдырлық және трибологиялық қасиеттер ретінде анықталады.

Кілтті сөздер: жылу-электр станциясы, қазандықтың жылыту беттері, Cr_3C_2-NiCr, детонациялық бүрку, болат 12Х1МФ.

[1]B. K. Rakhadilov, [2]M. K. Dautbekov, [3]L. G. Zhurerova, [4]O. A. Stepanova, [5]A. M. Akaev
[1]Plasmascience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;
[2,5]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;
[3]S. Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;
[4]Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey.
Material received on 20.06.23.

TECHNOLOGY OF OBTAINING COATINGS BY DETONATION COATING ON PARTS OF POWER EQUIPMENT OF THERMAL POWER PLANTS

This article presents the results of a study of Cr_3C_2-NiCr coatings applied by detonation sputtering on samples of heat-resistant steel 12Kh1MF (DIN 14MoV63). Experimental studies of the interdependence between the technological parameters of the coating process and the resulting microstructure and properties of coatings, depending on the operating mode of the detonation gun, have been carried out. It was found that during detonation spraying, the structural-phase composition and tribological properties of the applied coating change depending on the degree of filling the barrel with the C_2H_2/C_3H_8 gas mixture. The results of the influence of process parameters on the microstructure and properties of coatings were obtained by X-ray diffraction analysis, according to which the phases Cr_3C_2, Cr_7C_3, Cr_3O_4, Cr_2O_3, $Cr_{23}C_6$ and $CrNi_3$ were determined, the physical characteristics of the coating were determined as microhardness, roughness and tribological properties.

Keywords: combined heat and power plant, boiler heating surfaces, Cr_3C_2-NiCr, detonation spraying, steel 12Kh1MF.

МРНТИ 621.313.3

https://doi.org/10.48081/QJFC6445

Д. М. Рахимбердинова[1], А. Н. Новожилов[2], Е. Н. Колесников[3], Н. Ш. Жуматаев[4], Т. А. Новожилов[5]

[1,2,3,4]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;
[5]Омский государственный технический университет, Российская Федерация, г. Омск
*e-mail: Di_lara83@mail.ru

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА

Для построения токовых защит электрических сетей и электроустановок традиционно применяются трансформаторы тока и токовые реле. В силу конструкционных особенностей целого ряда элементов электроэнергетических систем установка трансформаторов тока и, следовательно, токовой защиты, построенной на них, сопряжена со значительными сложностями. Вместо традиционно используемых измерительных преобразователей тока в виде трансформатора тока и реагирующего органа в виде токового реле предлагается использовать магнитный преобразователь тока, который выполняется на базе магнитной и контактной системы токового реле РТ-40.

Предложенные конструкции магнитного преобразователя тока различаются методами его крепления и выставления порога срабатывания, а также способами защиты от напряжения в токоведущей шине. Это дает возможность реализовывать простые и дешевые, однофазные и трехфазные токовые защиты для низковольтных электрических сетей и электроустановок с классом напряжения до 1000В, а также высоковольтных электроустановок напряжением 6–10 кВ. Таким образом, магнитные преобразователи тока представляют отдельный класс простых в изготовлении и установке защит электрических сетей и электрических установок от КЗ, для реализации которых не требуется трансформатор тока.

Ключевые слова: Токовые защиты, измерительный преобразователь тока, реагирующий орган, магнитный преобразователь тока, геркон.

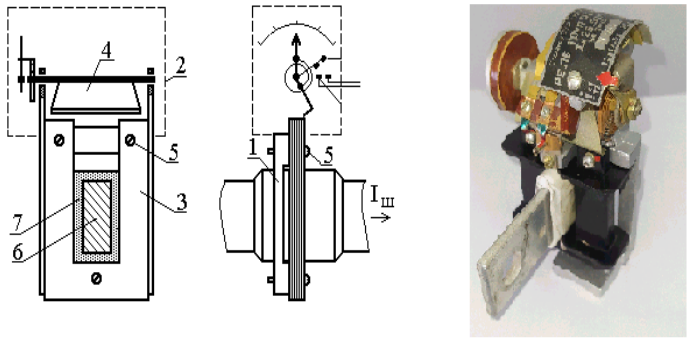
Введение

Традиционно при реализации токовых защит электрических сетей и электроустановок в качестве измерительного преобразователя тока используется трансформатор тока (ТТ), а в качестве реагирующего органа токовое реле [1–3]. Однако из-за конструкционных особенностей целого ряда элементов электроэнергетических систем установка ТТ, а, следовательно, и реализация их токовой защиты сопряжена со значительными сложностями [4,5]. Это вызвано тем, что установка ТТ чаще всего требует врезки его в цепь питания, а сам ТТ имеет довольно значительные размеры.

В ряде случаев эту проблему удается решить, если в качестве измерительного преобразователя и реагирующего органа токовой защиты использовать геркон. В свою очередь использование геркона для этих целей дополнительно требует разработки устройства для его крепления и выставления порога срабатывания, а также способов защиты от напряжения в токоведущей шине. Кроме того, при срабатывании геркона его контакты начинают замыкаться и размыкаться с удвоенной частотой сети. Что требует при реализации применения дополнительного устройства в виде расширителя импульсов и источника его питания. В значительной мере, избежать перечисленных недостатков можно, если для построения токовой защиты использовать магнитные преобразователи тока (МПТ) которые выполняются на базе магнитной и контактной системы токового реле РТ-40.

Материалы и методы

Наиболее простым в изготовлении является МПТ с одним магнитопроводом [6–8]. При его выполнении из реле РТ-40, у реле откручивают основание, удаляются коммутационные провода и отрезают часть алюминиевой стойки. Контактная система реле РТ-40 и ее крепление остается без изменения. Конструкция такого МТТ приведена на рисунке 1,а где 1 – алюминиевая стойка; 2 – контактная система; 3 – магнитопровод; 4 – якорь; 5 – винты для крепления магнитопровода к стойке 1.



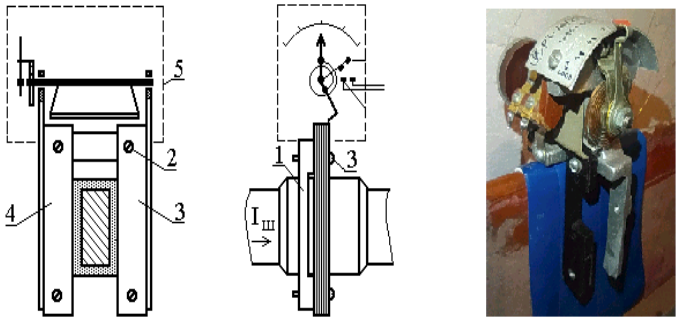
а) б)

Рисунок 1 – Конструкция и установка МТТ с одним магнитопроводом

Для установки и закрепления МПТ на шине 6 используют изоляцию 7. Ее выполняется их стеклоткани в виде ленты, которую пропитывают лаком или эпоксидной смолой. Затем эту ленту наматывают на шину до толщины достаточной для плотной посадки МПТ. Такой монтаж МПТ на шине 6 после высыхания пропиточного лака лаком или эпоксидной смолой позволяет надежно закрепить МПТ на шине и защитить обслуживающий персонал от поражения электрическим током при обслуживании этого МПТ. Например, при выставлении порога срабатывания. Внешний вид МПТ приведен на рисунке 1,б.

Основным недостатком МПТ такой конструкции является то, что для его монтажа также требуется разборка шины. Что несколько ограничивает область его использования. Как правило, МПТ такой конструкции может использоваться в качестве защиты от КЗ электрических сетей и электроустановок напряжением ниже 1000В.

Эту проблему можно решить путем использования МПТ, который также выполняется на базе магнитной и контактной системы токового реле РТ-40 [9, 10], но имеет два расположенных параллельно магнитопровода. Конструкция этого МПТ и его размещение на токоведущей шине, а также внешний вид показаны на рисунках 2,а и 2,б. Этот тип МПТ также предназначен для защиты от токов КЗ электрических сетей и электрических установок с напряжением до 1000В.



а) б)

Рисунок 2 – Конструкция и установка МПТ с двумя расположенными параллельно магнитопроводами в сетях до 1000В

При изготовлении МПТ с двумя расположенными параллельно магнитопроводами из реле РТ-40, у этого реле удаляют основание и коммутационные провода, а затем отрезают ту часть алюминиевой стойки, которая располагается между магнитопроводами. Таким образом несущим элементом в этом МПТ будет являться алюминиевая П – образная стойка 1. На этой стойке с помощью четырех винтов 2 закрепляются магнитопроводы 3 и 4. Контактная система 5 токового реле РТ-40 не переделывается.

Крепление МПТ на шине осуществляется также с помощью изоляции, выполненной из стеклоткани, пропитанной лаком или эпоксидной смолой. Использование МПТ такого типа в электрических сетях и электрических установках с напряжением до 1000В определено типом используемой изоляции.

Конструкция МПТ с двумя, расположенными параллельно, магнитопроводами и его установка для реализации токовой защиты сети с напряжением выше 1000В показана на рисунке 3. Эта конструкция МПТ отличается от конструкции, приведенной на рисунке 2, механизмом его крепления на электрической установке. Этот механизм крепления представляет собой систему стоек 1, 2 и 3, 4 из немагнитного материала, которые между собой скрепляются с помощью винтов 5. Алюминиевая стойка 6 с магнитопроводами 7, 8 и контактной системой 9 прикрепляется к стойкам 1 и 3 с помощью винтов 10. При этом стойки 2 и 4 закрепляются на электрической установке с помощью гаек 11. Что обеспечивает возможность перемещения алюминиевой стойки 1 относительно токоведущей шины 12 и выбирать порог срабатывания МПТ. При этом шина 12 к защищаемой электрической установке крепится с помощью опорного изолятора 13. В качестве контактной системы этого МПТ используется контактная система токового реле серии РТ-40.

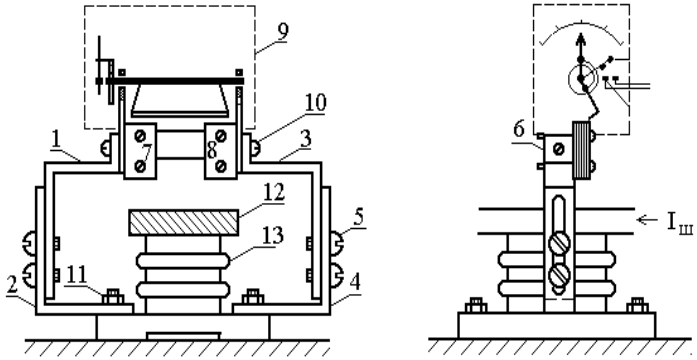


Рисунок 3 – Конструкция и установка МПТ с двумя магнитопроводами в сетях с напряжением 6кВ

Разновидностью этого МПТ является МПТ с горизонтальным расположением двух магнитопроводов. Конструкция такого МПТ приведена на рисунке 4. В этой конструкции МПТ несущая стойка 1 выполняется из листового текстолита. К ней, как в предыдущей конструкции МПТ прикрепляется контактная система 2, а также с помощью винтов 3 магнитопроводы 4 и 5.

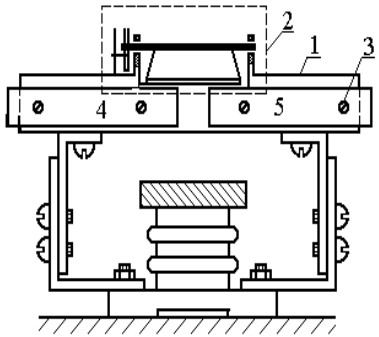


Рисунок 4 – Конструкция МПТ с двумя магнитопроводами лежащими в одной плоскости

Трехфазный МПТ для защиты от КЗ электроустановки с напряжением до 1000В показан на рисунке 5. Он отличается от однофазного МПТ на рисунке 3 только конструкцией магнитной системы. Она имеет четыре расположенных

параллельно магнитопровода, которые крепятся к несущей стойке 1 из листового алюминия или текстолита, на которой с помощью восьми винтов 2 закрепляются магнитопроводы 3 – 6. Якорь 7 выполняется такой длины, чтобы он имел одинаковые воздушные зазоры 8 со всеми магнитопроводами.

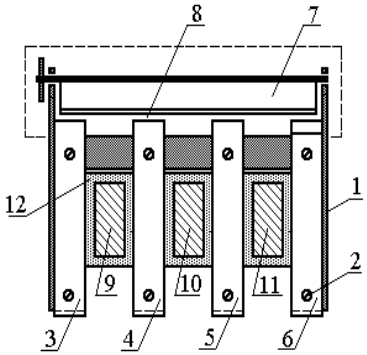


Рисунок 5 – Конструкция трехфазного МПТ

При реализации токовой защиты электрической сети или электроустановки трехфазный МПТ закрепляется на шинах 9–11 фаз с помощью изоляции 12. Сопоставление конструкций МПТ на рисунках 2 и 5 показывает, что трехфазный МПТ немного сложнее однофазного. В тоже время на его основе можно построить трехфазную токовую защиту, которая будет не только защищать все три фазы электрической сети или электроустановки от КЗ, но и, вероятно, будет чувствительнее защит от КЗ на однофазном МПТ.

В ряде случаев при реализации МПТ контактную систему от токового реле серии РТ-40 можно заменить герконом. Конструкция высоковольтного МПТ с герконом приведена на рисунке 6. Она представляет собой Н – образную стойку 1, например, из стеклотекстолита, к которой с помощью четырех винтов 2 прикреплены магнитопроводы 3 и 4 из ферромагнитного материала с отверстиями у их верхнего торца. В эти отверстия при монтаже вставляются контакты 5 и 6 геркона 7. При этом геркон 7 устанавливается так, чтобы его воздушный зазор находился между магнитопроводами 3 и 4.

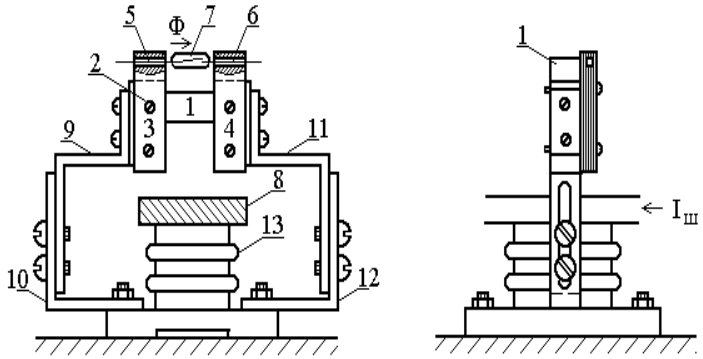


Рисунок 6 – Конструкция и установка МПТ с герконом в сети напряжением 6 кВ

На электрической установке такой МПТ и токоведущая шина 8 закрепляются помощью стоек 9–12 и изолятора 13 так, как это показано на рисунке 6. В соответствии с [1] МПТ с двумя расположенными параллельно магнитопроводами достаточно хорошо защищены от магнитных полей соседних проводников с током.

Результаты и обсуждения

Исходя из изложенного, можно предположить, что МПТ образуют новый класс простых в изготовлении и установке защит электрических сетей и электрических установок от КЗ, для реализации которых не требуется трансформатор тока.

Информация о финансировании

Это исследование было профинансировано Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН AP14972775).

Выводы

Основой магнитного преобразователя тока является магнитная и контактной системы, выполняемые на базе элементов токового реле серии РТ-40, а также элементы их крепления к электрической установке, выбор которых определяется классом рабочего напряжения и местом его расположения при реализации токовой защиты.

Список использованных источников

1 **Федосеев, А. М.** Релейная защита электрических систем. – М. : Изд-во Энергия, 1976. – 559 с.

2 **Беркович, М. А., Молчанов, В. В., Семенов, В. А.** Основы техники релейных защит. – М. : Изд-во Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.

3 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Изд-во Высшая школа, 1991. – 495 с.

4 **Казанский, В. Е.** Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М. : Изд-во Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.

5 **Новожилов, Т. А., Новожилов, А. Н., Волгина, Е. М.** Область использования магнитных трансформаторов тока в электроэнергетике // Омский научный вестник. – 2018. – №3. – С. 67–73.

6 **Новожилов, А. Н., Асаинова, Д. К., Жуматаев, Н. Ш. и др.** Магнитный трансформатор тока с контактом // Вестник машиностроения. – 2022. – № 3. – С. 53–56.

7 **Novozhilov, A. N., Assainova, D. K., Zhumataev, N. Sh., Novozhilov, T. A.** Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – № 6. – P. 579–582.

8 **Новожилов, А. Н., Новожилов, Т. А., Асаинова, Д. К., Канашев, Н. К.** Максимальная токовая защита на магнитном трансформаторе тока с контактом // Вестник ПГУ. – 2020. – №1(147). – С. 327–334.

9 Иннов. пат. 36016 РК. МПК H02H 3/28. Устройство максимальной токовой защиты токопровода / Новожилов А. Н., Новожилов Т. А., Асаинова Д. К.; опубл. 23.12.22, Бюл. №51. – 3 с.

10 **Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Assainova, D. K.** Experimental study of a magnetic current transformer with a contact // Science and innovations 2021: development directions and priorities : proceed. of the internat. conf. – 2021. – P. 110–114.

References

1 **Fedoseev, A. M.** Relejnaya zashchita elektricheskih sistem [Relay protection of electrical systems]. – Moscow : Energia Publishing House, 1976. – 559 p.

2 **Berkovich, M. A., Molchanov, V. V., Semenov, V. A.** Osnovy tekhniki relejnyh zashchit [Fundamentals of relay protection technology]. – Moscow : Energoatomizdat Publishing House, 1984. – 376 p.

3 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Izd-vo Vysshaya shkola, 1991. – 495 p.

4 **Kazanskij, V. E.** Izmeritel'nye preobrazovateli toka v relejnoj zashchite [Measuring current converters in relay protection]. – Moscow: Izd-vo Energoatomizdat, 1988. – 240 p.

5 **Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Volgina, E. M.** Oblast' ispol'zovaniya magnitnyh transformatorov toka v elektroenergetike [The field of use of magnetic current transformers in the electric power industry] // Omskij nauchnyj vestnik. – 2018. – № 3. – P. 67–73.

6 **Novozhilov, A. N., Asainova, D. K., ZHumataev, N. Sh. i dr.** Magnitnyj transformator toka s kontaktom [Magnetic current transformer with contact] // Vestnik mashinostroeniya. – 2022. – № 3. – P. 53–56.

7 **Novozhilov, A. N., Assainova, D. K., Zhumataev, N. Sh., Novozhilov, T. A.** Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022. – №6. – P. 579–582.

8 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Asainova, D. K., Kanashev, N. K.** Maksimal'naya tokovaya zashchita na magnitnom transformatore toka s kontaktom [Maximum current protection on a magnetic current transformer with a contact] // Vestnik PGU. – 2020. – №1(147). – P. 327–334.

9 Innov. pat. 36016 RK. MPK N02N 3/28. Ustrojstvo maksimal'noj tokovoj zashchity tokoprovoda [The device of the maximum current protection of the current line] / Novozhilov A. N., Novozhilov T. A., Asainova D. K.; opubl. 23.12.22, Byul. №51. – 3 p.

10 **Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Assainova, D. K.** Experimental study of a magnetic current transformer with a contact // Science and innovations 2021 : development directions and priorities: proceed. of the internat. conf. – 2021. – P. 110–114.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**Д. М. Рахимбердинова[1], А. Н. Новожилов[2], Е. Н. Колесников[3], Н. Ш. Жуматаев[4], Т. А. Новожилов[5]*
[1,2,3,4]Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;
[5]Омбы мемлекеттік техникалық университеті,
Ресей Федерациясы, Омбы қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

МАГНИТТІК ТОК ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Электр желілері мен электр қондырғыларының ток қорғанысын құру үшін дәстүрлі түрде ток трансформаторлары мен ток релелері қолданылады. Электр энергетикалық жүйелерінің бірқатар элементтерінің құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты ток трансформаторларын орнату, демек, оларға салынған ток

қорғанысы айтарлықтай қиындықтармен байланысты. Дәстүрлі түрде қолданылатын ток түрлендіргіштерінің орнына Ток трансформаторы және Ток релесі туріндегі реактивті орган ретінде магниттік ток түрлендіргішін пайдалану ұсынылады, ол РТ-40 ток релесінің магниттік және байланыс жүйесі негізінде орындалады.

Магниттік ток түрлендіргішінің ұсынылған конструкциялары оны бекіту және іске қосу шегін шығару әдістерімен, сондай-ақ ток шинасындағы кернеуден қорғау әдістерімен ерекшеленеді. Бұл кернеуі 1000В дейінгі төмен вольтты электр желілері мен электр қондырғылары, сондай-ақ кернеуі 6–10 кВ жоғары вольтты электр қондырғылары үшін қарапайым және арзан, бір фазалы және үш фазалы ток қорғанысын жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Осылайша, магниттік ток түрлендіргіштері электр желілері мен электр қондырғыларын қысқа тұйықталудан қорғауға және орнатуға оңай, оларды жүзеге асыру үшін Ток трансформаторы қажет емес жеке класс болып табылады.

Кілтті сөздер: ток қорғанысы, токты өлшеу түрлендіргіші, реактивті орган, магниттік ток түрлендіргіші, қамыс қосқышы.

** D. M. Rakhimberdinova[1], A. N. Novozhilov[2], E. N. Kolesnikov[3], N. Sh. Zhumataev[4], T. A. Novozhilov[5]*
[1,2,3,4]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;
[5]Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk.
Material received on 20.06.23.

DESIGN FEATURES OF MAGNETIC CURRENT CONVERTERS

Current transformers and current relays are traditionally used to build current protections for electrical networks and electrical installations. Due to the structural features of a number of elements of electric power systems, the installation of current transformers and, consequently, current protection built on them is associated with significant difficulties. Instead of the traditionally used current measuring converters in the form of a current transformer and a reacting organ in the form of a current relay, it is proposed to use a magnetic current converter, which is based on the magnetic and contact system of the RT-40 current relay.

The proposed designs of a magnetic current converter differ in the methods of fixing it and setting the trigger threshold, as well as ways of protecting against voltage in the current-carrying bus. This makes it possible to implement simple and cheap, single–phase and three-phase current protection for low-voltage electrical networks and electrical installations with a voltage class up to 1000V, as well as high-voltage electrical installations with a voltage of 6–10 kV. Thus, magnetic current converters represent a separate class of easy-to-manufacture and install protection of electrical networks and electrical installations from short circuit, for the implementation of which a current transformer is not required.

Keywords: Current protection, measuring current converter, reacting organ, magnetic current converter, reed switch.

МРНТИ 87.17.81.

https://doi.org/10.48081/DKHI9709

***Г. К. Сыдыкова**
Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.
e-mail: sydykova77@mail.ru

ИМПУЛЬСТІК ОЗОНАТОРДЫҢ ЖҰМЫСЫН ТАЛДАУ

Жұмыс аймақтарындағы атмосфералық ауаны тазарту және дезинфекциялау үшін жоғары тиімді озондық технологиялар мен озондау құрылғыларын жасаудың практикалық маңызы өте үлкен.

Озонды әртүрлі салаларда пайдаланған кезде бөлмені өңдеу үшін шығарылатын озон концентрациясына үлкен назар аудару керек. Сонымен қатар, озонның әсеріне әсер етуі мүмкін технологиялық процестің ерекшеліктерін, температураны, ылғалдылықты және басқа параметрлерді ескеру қажет. Жұмыс бөлмелеріндегі озон концентрациясын бақылау мен реттеуді автоматтандыру арқылы ауаны озондау құрылғысын жасау мәселелері де назар аударуды қажет етеді.

Аталған мәселелерге қол жеткізу үшін тәжді-барьерлік разряд режимінде жұмыс істейтін озондаушы құрылғы жасау қолға алынды. Озонатор ұяшығында орын алуы тиіс тәжді-барьерлік разряды үшін ұзақтығы шамамен 75 мкс және қайталану жиілігі 4 кГц-ке дейінгі жоғары кернеулі импульстарды қолдану мүмкіндігі қарастырылды.

Берілген жұмыста өндірістік бөлмелерді залалсыздандыру үшін озон концентрациясын оңтайлы таңдау және реттеу үшін тәжді-барьерлік разрядтың озон ұяшықтарына берілетін жоғары кернеулі импульстарды шығаруға арналған генератор мен жұмыс көлеміндегі озон концентрациясын автоматты түрде басқаруға арналған сұлба әзірленді. Импульстік озонатордың үлгісі жасалып, озонды пайдалану перспективасы зерттелді.

Кілтті сөздер: озон, разряд, озонаторлық ұяшық, энергия шығыны, жоғары кернеулі импульстар.

Кіріспе

Атмосфералық ауадағы тәжді разрядқа негізделген электртехнологиялық құрылғылардың жаңа түрлері мен оларға қатысты үдерістерді зерттеулер

үлкен қызығушылық тудырады, олар жыл сайын әртүрлі өнеркәсіптік салаларда көбірек маңызды қолданыстар табуда [1].

Тәждік разрядта озон алудың осы уақытқа дейінгі белгілі әдістері мен құрылғыларын қарастыру нәтижесінен тұрмыстық санитарлық және шаруашылық мақсатқа ең қолайлысы аз электродаралық қашықтықта микросымдардағы тәж разрядына негізделген озонаторлар болып табылатынын көруге болады.

Озонаторларды жасау кезінде негізінен оның озонның энергетикалық шығымына назар аударылады, яғни жұмсалған энергия бірлігіне (г/кВт·сағ) алынатын озон мөлшерімен анықталады [2].

Озонатордың энергия тұтынуының және озон шығымының айтарлықтай жоғарылауы тәждік разрядта байқалады, онда микросымдар немесе өткір ине түріндегі тәж электродтары жоғары ағынмен ламинарлы ауа ағынымен үрленеді. Осыған байланысты разрядтың электрлік сипаттамаларын толығырақ қарастыру және әртүрлі жылдамдықтар мен бағыттардағы ауа ағынымен үрленетін тәждік разрядта болатын физикалық процестерді зерттеу ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады.

Орташа озон шығару өнімділігі (10–100 г/сағ.) озонаторлар санатына жататын және энергетикалық шығымы 50г/кВт.сағ.-қа дейінгі бұл ОКР типті озонаторлар дизайны бойынша қарапайым және жұмыс істеуге оңай және айтарлықтай энергетикалық тұрғыдан тиімді саналады. Егер тәждік электродтардың сенімділігі мен қызмет ету ұзақтығын арттырсақ және озонның энергетикалық шығымын қолданыстағымен салыстырғанда арттыратын болсақ, онда мұндай озонаторлдарды одан әрі дамыту мен жетілдірудің болашағы айқын болады.

Жаңа озонаторды жасау кезінде бұрын қарастырылған озонаторлардың кемшіліктерін ескеру қажет болды, яғни озонатор келесі параметрлерге сәйкес болуы керек: озон шығару өнімділігі жеткіліктілігі, дизайны қарапайым, жұмыс сенімділігі жоғары, меншікті энергия шығыны төмен болуы шарт.

Озон концентрациясына арналған құрылғыны әзірлеудің негізгі мақсаты өндірістік бөлмелерді өңдеудің оңтайлы технологиялық шарттарын қамтамасыз ету болып табылады. Осыған байланысты жұмыс аймақтарында атмосфералық ауаны залалсыздандыру үшін қолданылатын белгілі әдістер мен тәсілдердің барлық мүмкіндігін қарастыру қажеттілігі туындайды.

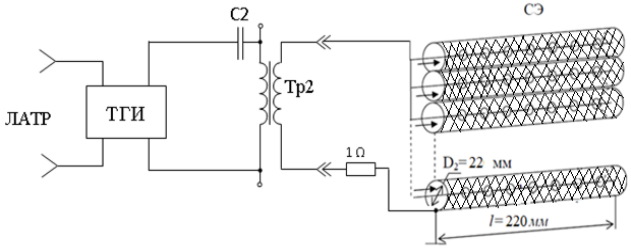
Материалдар мен әдістер

Озонды қолданатын әртүрлі технологиялардың кеңінен таралмауы озон өндіру үшін энергияны тұтынудың айтарлықтай жоғары деңгейімен түсіндіріледі. Осыған байланысты, озон синтезінің оңтайландырылған параметрлері бар озонаторды жасау бүгінгі таңда өзекті болып табылады.

Озонатор жұмысының негізгі критерийлерінің бірі жұмсалған энергия бірлігіне (г/кВт·сағ.) алынатын өнім (озон) мөлшерін анықтайтын озонның энергетикалық шығымы болып табылады. Дәл осы шама әртүрлі электрлік разрядтар негізінде жұмыс істейтін озонаторларды салыстыру үшін негізгі біріншіреттік нүкте ретінде қызмет етеді. Озонаторды сипаттайтын тағы бір маңызды критерий – оның жалпы озон шығару өнімділігі (г/сағ.), ол әдетте нысанның қажеттілігінен немесе өңделетін өнім көлемінен таңдалады [3, 4].

Жоғарыда қойылған мақсаттарға қол жеткізу үшін тәжді-барьерлік разряд режимінде жұмыс істейтін ОВИ-1 типті жоғары жиілікті импульстік озонатор жасалды [5]. Электрлік тосқауыл ретінде қалыңдығы 1 мм әйнек алынады, озонатордың озондаушы элементінің тәждік және сыртқы электродтары арасында орналасады. Озонатор ұяшығының тәжді-барьерлік разряды үшін ұзақтығы шамамен 75 мкс және қайталану жиілігі 4 кГц-ке дейінгі жоғары кернеулі импульстар қолданылады.

Импульстік тәж разрядындағы меншікті энергия шығыны барьерлік разрядындағыдан аспайды. Кеңейтілген иондану аймағы бар ICR-да озон өндіру бойынша тәжірибелік зерттеулер жүргізілген қондырғы жоғары токтың тиристорлық генераторынан, шығыс кернеуі 3 кВ дейінгі күшейткіш импульстік трансформатордан тұрады. Орнату схемасы 36-суретте көрсетілген



Сурет 1 – Эксперименттік қондырғының функционалдық сұлбасы.
ТИГ – тиристорлық импульстік генератор;
С2 – жинақтаушы конденсатор; Тр2 – трансформатор;
ЭЖ – электродтық жүйе; D1 – түтікшелер диаметрі;
l – түтікшелер ұзындығы

Озон жоғары кернеуде пайда болады. Сондықтан, біз тәжді-барьерлік разрядтың озонаторлық ұяшықтарына берілетін жоғары кернеулі импульстарды шығаратын арналған қондырғыны әзірледік.

Қондырғы келесідей жұмыс істейді. Жоғары кернеулі импульстарды шығару блогы зертханалық автотрансформатор (LATR) арқылы 220 В желісіне қосылған. Сұлба бойынша қоректендіру кернеуі LATR

автотрансформаторының орамынан алынады және Тр1 трансформаторының біріншіреттік орамасына беріледі. Екінші реттік орама тогы диодтық көпір арқылы түзетіліп, дроссель арқылы, екі тізбектей жалғанған VD1 және VD2 диодтары, сыйымдылығы 3 мФ С2 сақтау конденсаторы және Тр2 трансформаторының біріншіреттік орамасы арқылы өтеді [6].

Озонаторлық ұяшық екі электродтан және шыны түріндегі электрлік барьерден тұрады. Теріс потенциал берілетін электродтардың біреуі разрядтық аралықтан озон диффузиясы үшін мүмкіндікті қамтамасыз ету үшін металл тор түрінде жасалады.

Оң потенциал берілетін екінші электрод пластина түрінде жасалады. Тр3 трансформаторынан оң импульс VD4 тиристорының басқару электродына келгенде тиристор ашылады және жинақтаушы С2 конденсаторы енгізілген тиристор арқылы Тр2 трансформаторының біріншіреттік орамасына разрядталады. Бұл жағдайда екіншіреттік күшейткіш орамада барьерлік разрядтың озонатор ұяшығына берілетін жоғары вольтты импульс индукцияланады.

VD3 диоды өзі арқылы С2 жинақтау конденсаторының разряд тогы өткен кезде Тр2 трансформаторының біріншіреттік орамасының өзіндік индукция ЭҚК-ін сөндіруге қызмет етеді.

Екіншіреттік ораманың тізбегінде озонатор ұяшығымен 1 Ом шағын кедергісі тізбектей жалғанады, ол зерттеу кезінде ұяшық арқылы импульстік токтың толқын пішінінің осциллограммасын байқауға қызмет етеді.

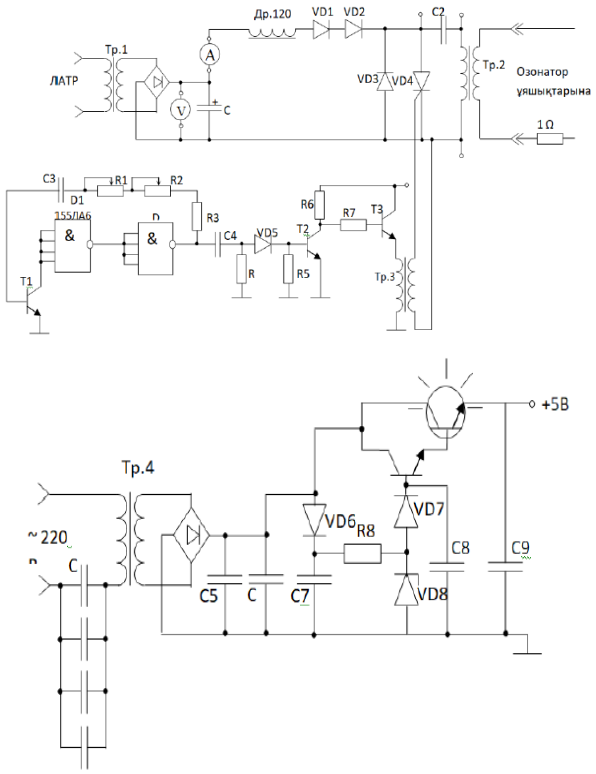
Жоғары вольтты импульстар көзінің электр тізбегі 2-суретте көрсетілген. Импульстер 155LA6 цифрлық микросұлбасымен және Т1 транзисторымен жинақталған импульстік генератор тізбегі арқылы жасалады [7]. Генератор импульстері Т2 және Т3 транзисторларындағы күшейткіш арқылы күшейтіледі және D3 тиристорына қосу үшін Тр3 импульстік трансформаторы арқылы беріледі. Тр3 импульстік трансформаторы Тр2 трансформаторының және импульстік генератордың қоректену тізбектерін гальваникалық оқшаулау үшін қажет.

Импульстің қайталану жиілігі R1 (дөрекі) және R2 (дәл) айнымалы резисторлармен реттеледі, бұл зерттеу жүргізу кезінде қажет болады. Импульстік генератор мен күшейткішті қоректендіру үшін тұрақтандырылған +5В түзеткіш қолданылады [8]. Оның құрамына Тр4 трансформаторы, көпірлік түзеткіш және кернеу реттегіші кіреді.

С2 конденсаторын Тр2 біріншіреттік орамасы арқылы жүйелі разрядтау үшін КУ202Н-дегі тиристорлық импульстік разрядтағыш пайдаланылады, оның басқару электродына Тр3 ажыратқыш трансформаторы (МИТ-4В типті жоғары жиілікті шағын өлшемді трансформатор пайдаланылады) және Т2 (n-p-n типті КТ315Г) және Т3 (p-n-p типті КТ814Б) транзисторларындағы

күшейткіш-пішіндеуіші арқылы импульстар DD1 (K155LA6) интегралды схемасындағы реттелетін мультивибратор-осциллятордан, транзистор T1 (KT315I типі) және RC тізбегінен импульстер түседі және R = R1 + R2 екі айнымалы резистордан тұрады.

«Дөрекі» диапазонындағы жиілікті өзгерту R1 сырғытпасын (330 кОм) айналдыру арқылы, ал жіңішкелеу «Дәл» диапазонында – R2 сырғытпасын (4,7 кОм) айналдыру арқылы жүзеге асырылады. Тиристор өздігінен автогенератордан келетін импульстар есебінен ашылады, ал C2 конденсаторы ол арқылы разрядталады, ал разрядтың соңында ол автоматты түрде Тр2 трансформаторының біріншіреттік орамасына енеді, бұл ретте озонатор ұяшықтарына берілетін Тр2 трансформаторының екіншіреттік қайталама орамасындағы индуктивтілік арқылы жиілігі бірдей, бірақ амплитудасы анағұрлым жоғары импульстар пайда болады.



Сурет 2 – Озонатор ұяшығына арналған жоғары кернеулі импульстар көзінің электрлік тізбегі

VD1, VD2 диодтары разрядтық импульстардың түзеткіш тізбегіне - LC сүзгісіне түсуіне жол бермейді, ал VD3 диоды тиристордың VD4 кері кернеу әсерінен (Тр2 трансформаторының өздік индукция ЭҚК-і) тесілуіне жол бермейді.

Тр4 трансформаторындағы, диодтық көпірдегі, KS168A стабилитронындағы параметрлік тұрақтандырғыш және KT315, KT815 транзисторларындағы көмекші қорек көзі автогенератор мен күшейткіш-пішіндеуішті қоректендіру үшін қызмет етеді [9].

Өндірістік бөлмелерде озонды пайдалану кезінде өнімдерді өңдеу үшін бөлінетін озон концентрациясына үлкен назар аударылуы тиіс. Сондай-ақ, технологиялық процестің ерекшеліктерін, температураны, ылғалдылықты және озон әсеріне әсер етуі мүмкін басқа параметрлерді де ескеру қажет.

Жұмыс бөлмесі үшін озон концентрациясын оңтайлы таңдау және реттеу үшін барьерлік разрядтың озон ұяшықтарына берілетін жоғары кернеулі импульстарды шығаруға арналған генератор және жабық көлемде озон концентрациясын автоматты түрде басқаруға арналған сұлба жасалды.

Құрылымдық технологиялық схемадан (3-сурет) өндірістік бөлмелерді озондауға арналған тәжірибелік құрылғының бес негізгі бөліктен тұратынын көруге болады:

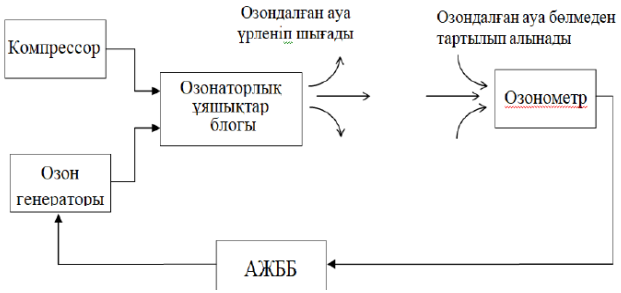
1 Жоғары вольтты кернеу импульстерінің көзі - озон генераторы;

2 Озон түзетін тәжді разрядты ұяшықтар;

3 Компрессор;

4 Озонометр;

5 Озон концентрациясын автоматты басқару блогының тәжірибелік үлгісі немесе генератордың автоматты жиілікті басқару блогы (АЖББ) [10].



Сурет 3 – Өндірістік бөлмелерде ауаны озондаудың жалпы құрылымдық технологиялық схемасы

Нәтижелер мен талдаулар

Озон генераторы күштік трансформатор түріндегі жүктемесі бар басқарылатын тиристорлық жоғары кернеулі электронды қосқыш негізінде құрылған жоғары кернеулі импульстердің көзі болып табылады. Озонатор ұяшықтарына жоғары кернеулі импульстар беріледі, онда тәждік разряд пайда болады, бұл үрленетін аралықта озонның пайда болуын тудырады. Озон концентрациясы озон құрамын тұрақты токқа түрлендіру арқылы озонометрмен өлшенеді, оның мәні шкаланың ортасында нөлдік нүктесі бар шығыс микроамперметрмен өлшенеді.

Озонатор ұяшықтарындағы озон құрамын автоматты түрде реттеу идеясы озонның қалыпты мөлшері кезінде озон өлшегіш микроамперметр арқылы өтетін ток «0» мәніне тең болатындығына және кез келген өзгерістің (оң және теріс). озонаторлық ұяшықтарда жоғары кернеулі импульстардың тығыздығының сәйкес өзгеруімен өтелуіне негізделеді.

Өз кезегінде, жоғары кернеу тиристор кілтінің тұтану импульстерінің жиілігімен анықталады, сондықтан шын мәнінде кернеуді автоматты басқару блогы автоматты жиілікті басқару блогы (АЖББ) болып табылады. Бастапқыда басқарылатын тиристорлық тұтану импульстік генераторының f0 жиілігі орнатылады, ол озон құрамының көрсетілген мәніне сәйкес келеді. АЖББ блогы микроамперметрдегі токтың кез келген ауытқуы озон генераторы тудыратын жоғары кернеудің қарама-қарсы мәнімен өтелетін етіп жасалған.

Озон генераторына берілетін кернеу зертханалық автотрансформатормен (ЛАТР) реттеледі. ЛАТР-дан алынған айнымалы кернеу диодты көпірмен түзетіледі, С1 конденсаторымен және дроссельмен сүзіледі және жоғары кернеулі екінші орамасы бар Тр2 жоғары вольтты трансформатордан және С2 конденсаторынан тұратын сыйымдылықты энергияны сақтау құрылғысына беріледі. 3,0 мкФ, Тр2 бастапқы орамасына қосылған.

Егер ЛАТР-мен сыйымдылық жинақтағышын қоректендіру кернеуінің белгілі бір мәндерін орнатсақ, онда тиристор кілтін ашу жиілігін арттыру арқылы жинақталған энергияның мәнін арттыруға болады, осылайша түзілетін озон концентрациясы артады. Озон концентрациясы озонометрдің эксперименттік үлгісі арқылы өлшенеді.

Қорытынды

Өндірістік бөлмелердегі атмосфералық ауаны тазарту және дезинфекциялау үшін жұмыс тиімділігі жоғары импульстік озонатордың үлгісі жасалып, жұмысы зерттелді. Жұмыс бөлмесі үшін озон концентрациясын оңтайлы таңдау және реттеу үшін барьерлік разрядтың озон ұяшықтарына берілетін жоғары кернеулі импульстарды шығаруға арналған генератор және жабық көлемде озон концентрациясын автоматты түрде басқаруға арналған сұлба жасалып, ұсынылды.

Пайдаланылған деректер тізімі

1 **Бахтаев, Ш. А. Сыдыкова, Г. К., Тойгожинова, А. Ж., Коджабергенова, А.К.** Коронный разряд на микроэлектродах [Текст]. – Кызылорда : Ақмешіт, 2019. – 212 с.

2 **Бахтаев, Ш. А., Боканова, А. А., Бочкарева, Г. В., Сыдыкова, Г. К.** Физика и техника коронноразрядных приборов [Текст]. – Алматы, 2007. – 278 с.

3 **Гринман, И. Г., Бахтаев, Ш. А., Досбаев, С. Р.** Исследование температурной зависимости начальной напряженности поля коронного разряда [Текст] // Известия АН КазССР, Сер.физ.-мат, 1971. – № 6. – С. 74–77.

4 **Бахтаев, Ш. А.** О температурной зависимости характеристики коронного разряда на тонких проволоках [Текст] // Материалы I научной конференции молодых ученых АН КазССР. – Алма-Ата : Наука, 1968. – С. 15–16.

5 **Бахтаев, Ш. А., Аталыкова, А. К., Елеукулов, Е. О., Нурланулы, А.** Разработка озонаторов на коронно-барьерном разряде [Текст] // Тезисы докл 8-1 Межд.научн.-техн.конф «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». – Алматы : АУЭС. 2012. – С. 64.

6 **Гринман, И. Г., Бахтаев, Ш. А., Бавлаков, В. Н.** Коронноразрядные преобразователи и их применение [Текст] // Вестник АН КазССР.1978. – № 8. – С. 10–15.

7 **Бахтаев, Ш. А.** О температурной зависимости характеристики коронного разряда на тонких проволоках [Текст] // Известия АН КазССР, Сер.физ.-мат., 1968. – № 6. – С. 5–12.

8 **Башаров, Р. Б., Бахтаев, Ш. А., Маханов, У. М., Новокшонов, В. И.** О напряженности поля во внешней зоне униполярной короны [Текст] // Атомная и ядерная физика, Межвуз. сб. КазПИ. – Алма-Ата, 1986. – С. 53–57.

9 **Бахтаев, Ш. А., Кожаспаев, Н. К., Семёнов, С. Ю.** Об ионизационных коэффициентах Таунсенда в резко неоднородных полях [Текст] // Изв. АН КазССР, Сер. физ.-мат., 1989. – С. 63–66.

10 **Тойгожинова, А. Ж., Тергезсизова, А. С.** Разработка системы автоматического регулирования концентрации озона в рабочем помещении [Текст] // Известия НАН РК. – № 6. – Vol. 6. – Number 420. – Алматы, 2013. – С. 136–145.

References

1 **Bahtaev, Sh. A. Sydykova, G. K., Tojgozhinova, A. Zh., Kodzhabergenova, A. K.** Koronnyj razrjad na mikrojelektrodah [Corona discharge on microelectrodes] [Text]. – Kyzylorda : Ақmeshit, 2019. – 212 p.

2 **Bahtaev, Sh. A., Bokanova, A. A., Bochkareva, G. V., Sydykova, G. K.** Fizika i tehnika koronnorazrjadnyh priborov [Physics and technology of corona-discharge devices] [Text]. – Almaty, 2007. – 278 p.

3 **Grinman, I. G., Bahtaev, Sh. A., Dosbaev, S. R.** Issledovanie temperaturnoj zavisimosti nachal'noj naprjazhennosti polja koronnogo razrjada [Investigation of the temperature dependence of the initial field strength of the corona discharge] [Text] // Izvestija AN KazSSR, Ser.fiz.-mat. – 1971. – №6. – P. 74–77.

4 **Bahtaev, Sh. A.** O temperaturnoj zavisimosti harakteristiki koronnogo razrjada na tonkih provolokah [On the temperature dependence of the characteristics of a corona discharge on thin wires] [Text] // Materialy I nauchnoj konferencii molodyh uchenyh AN KazSSR. – Alma-Ata : Nauka, 1968. – P. 15–16.

5 **Bahtaev, Sh. A., Atalykova, A. K., Eleukulov, E. O., Nurlanuly, A.** Razrabotka ozonatorov na koronno-bar'ernom razrjade [Development of crown-barrier discharge ozonators] [Text] // Tezisy dokl 8-1 Mezhd. nauchn.-tehn. konf «Jenergetika, telekommunikacii i vysshee obrazovanie v sovremennyh uslovijah». – Almaty : AUJeS. 2012. – P. 64.

6 **Grinman, I. G., Bahtaev, Sh. A., Bavlakov, V. N.** Koronnorazrjadnye preobrazovateli i ih primenenie [Corona-discharge converters and their application] [Text] // Vestnik AN KazSSR, 1978. – №8. – P. 10–15.

7 **Bahtaev, Sh. A.** O temperaturnoj zavisimosti harakteristiki koronnogo razrjada na tonkih provolokah [On the temperature dependence of the characteristics of a corona discharge on thin wires] [Text] // Izvestija AN KazSSR, Ser.fiz.-mat. – 1968. – № 6. – P. 5–12.

8 **Basharov, R. B., Bahtaev, Sh. A., Mahanov, U. M., Novokshonov, V. I.** O naprjazhennosti polja vo vneshnej zone unipoljarnoj korony [On the field strength in the outer zone of the unipolar corona] [Text] // Atomnaja i jadernaja fizika, Mezhvuz. sb. KazPI. – Alma-Ata, 1986. – P. 53–57.

9 **Bahtaev, Sh. A., Kozhaspaev, N. K., Semjonov, S. Ju.** Ob ionizacionnyh kojefficientah Taunsenda v rezko neodnorodnyh poljah [On the Townsend ionization coefficients in sharply inhomogeneous fields] [Text] // Izv. AN KazSSR, Ser. fiz.-mat., 1989. – P. 63–66.

10 **Tojgozhinova, A. Zh., Tergezsizova, A. S.** Razrabotka sistemy avtomaticheskogo regulirovanija koncentracii ozona v rabochem pomeshhenii [Development of a system for automatic regulation of ozone concentration in the working room] [Text] // Izvestija NAN RK. – № 6. – Volume 6. – No. 420. – Almaty, 2013. – P. 136–145.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

**Г. К. Сыдыкова*
Кызылординский университет имени Коркыт Ата,
Республика Казахстан, г. Кызылорда.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНОГО ОЗОНАТОРА

Очень большое практическое значение имеет разработка высокоэффективных озоновых технологий и озонирующих устройств для очистки и дезинфекции атмосферного воздуха в рабочих зонах.

При использовании озона в различных отраслях промышленности следует уделять большое внимание концентрации озона, выделяемого для обработки помещения. Кроме того, необходимо учитывать особенности технологического процесса, температуру, влажность и другие параметры, которые могут повлиять на воздействие озона. Также требуют внимания вопросы создания устройства озонирования воздуха путем автоматизации контроля и регулирования концентрации озона в рабочих помещениях.

Для достижения указанных проблем было предпринято создание озонирующего устройства, работающего в режиме коронально-барьерного разряда. Рассмотрена возможность применения высоковольтных импульсов длительностью около 75 мкс и частотой повторения до 4 кГц для коронально-барьерного разряда, который должен иметь место в озонаторной ячейке.

В данной работе разработана схема автоматического управления концентрацией озона в рабочем объеме и генератором для выработки высоковольтных импульсов, подаваемых в озоновые ячейки коронно-барьерного разряда, для оптимального выбора и регулирования концентрации озона для обеззараживания производственных помещений. Была разработана модель импульсного озонатора и исследована перспектива использования озона.

Ключевые слова: озон, разряд, озонаторная ячейка, расход энергии, импульсы высокого напряжения.

**G. K. Sydykova*
Kyzylorda University named after Korkyt Ata,
Republic of Kazakhstan, Kyzylorda.
Material received on 20.06.23.

ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE PULSE OZONATOR

The practical significance of the development of highly efficient ozone technologies and ozonation devices for the purification and disinfection of atmospheric air in working areas is enormous.

When using ozone in various industries, great attention should be paid to the concentration of ozone produced for room processing. In addition, it is necessary to take into account the features of the technological process, temperature, humidity and other parameters that can affect the effect of ozone. The issues of developing an air ozonation device by automating the control and regulation of ozone concentration in working rooms also require attention.

To achieve these problems, the creation of an ozonating device operating in the corona-barrier discharge mode was started. For the corona-barrier discharge that should occur in the ozonator cell, the possibility of using high-voltage pulses with a duration of about 75 ɵs and a repeat frequency of up to 4 kHz was considered.

In this work, for the optimal selection and regulation of the ozone concentration for disinfection of production rooms, a generator for generating high voltage pulses transmitted to the ozone cells of the corona-barrier discharge and a scheme for automatic control of the ozone concentration in the working volume were developed. A model of a pulse ozonator was developed and the prospects for the use of ozone were studied.

Keywords: ozone, discharge, ozonator cell, energy consumption, high voltage pulses.

МРНТИ 50.41.25

https://doi.org/10.48081/PAPB9835

***С. Н. Талипов**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: talipovsn@gmail.com

РАЗРАБОТКА АНАЛИЗАТОРА ПОСЕЩАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QR-КОДОВ

Контроль посещаемости студентов является одной из задач преподавателей и эдвайзеров. Старый способ переклички студентов с пометкой в бумажном журнале в настоящее время малоэффективен. Для решения проблемы контроля посещаемости было решено разработать удобный и надежный способ автоматизации этого процесса. За основу была принята идея использования QR-кодов, их поточного сканирования и последующей автоматической обработки данных. Идея состоит в том, что преподаватель генерирует QR-коды для названий своих дисциплин и сохраняет их как изображения в телефоне, а студенты делают то же самое для своей фамилии, имени, отчества и группы. На занятии преподаватель сканирует изображение с QR-кодом проводимой дисциплины, а затем по очереди поточно сканирует QR-код каждого студента, которые показывают ему свой код с телефона. После этого в программе-сканере QR-кодов преподавателя сохраняются название предметов, ФИО студентов, их группы, даты и время занятий. Дальнейшее развитие идеи сканирования кодов для контроля посещаемости требовало создания компьютерной программы (анализатора) для анализа файлов с данными со сканера QR-кодов. Была разработана функциональная схема обработки данных анализатора, а в последствии и сам анализатор. При старте анализатора открывается интерфейс, в котором преподаватель выбирает нужную для анализа дисциплину, группу, даты и время периода анализа, и вид отчета. В таблице окна программы отображаются проанализированные данные. При выборе краткого отчета отображаются ФИО студента и общее количество его посещений за выбранный период для данной дисциплины. Данные краткого отчета могут быть представлены отсортированными либо по фамилии, либо по количеству посещений. При выборе детального

отчета в таблице будет отображен каждый факт посещения студентом дисциплины за указанный период, конкретная дата и время посещения. Каждый из трех отчетов может быть экспортирован из программы в документ MS Excel. Предложенная идея контроля посещаемости через QR-коды и последующий анализ данных имеет научную и техническую новизну в функциональной структуре и алгоритме обработки данных. Разработанная программа-анализатор показала свою практическую значимость, востребованность и актуальность в учебном процессе университета.

Ключевые слова: QR-код, сканирование, данные, анализ, посещения.

Введение

Контроль посещаемости студентов является одной из задач преподавателей и эдвайзеров, т.к посещаемость и успеваемость неотъемлемые составляющие любого учебного процесса. Старый способ переклички студентов с пометкой в бумажном журнале в настоящее время малоэффективен: занимает много времени, возможны ошибочные отметки, пропуски и т.д.

Для решения проблемы контроля посещаемости было решено разработать удобный и надежный способ автоматизации этого процесса. За основу была принята идея использования QR-кодов [1] (рисунок 1), их поточного сканирования и последующей автоматической обработки данных.

Рисунок 1 – Пример QR-кода

Материалы и методы

Предложенный метод состоит в том, что преподаватель генерирует QR-коды для названий своих дисциплин и сохраняет их как изображения в телефоне, а студенты делают то же самое для своей фамилии, имени, отчества и группы. На занятии преподаватель сканирует изображение с QR-кодом проводимой дисциплины, а затем по очереди поточно сканирует QR-код каждого студента, которые показывают ему свой код с телефона. После этого в программе-сканере QR-кодов преподавателя сохраняются название предметов, ФИО студентов, их группы, даты и время занятий.

Для реализации предложенного метода анализа посещений необходимо экспортировать данные из программы-сканера QR-кодов во внешний файл с данными. Этот файл будет исходным материалом для последующего анализа. Удобным вариантом для анализа и обработки текстовых данных является формат «csv» [2] (рисунок 2).

```
"2023-02-27","17:06:37","Восточный Казахстан","QR Code","*** 2023 Защита информации ***","","0","
"2023-02-27","17:06:53","Восточный Казахстан","QR Code","Гати[redacted]ьдан Муслимович (ИС-102(с))",""
"2023-02-27","17:06:57","Восточный Казахстан","QR Code","Акд[redacted]мила Талгатовна (ИС-102(с)
"2023-02-27","17:07:01","Восточный Казахстан","QR Code","Кеки[redacted]на Александровна (ИС-102(с))",
"2023-02-27","17:07:05","Восточный Казахстан","QR Code","Сулейме[redacted]ила Муратовна (ИС-102(с))
"2023-02-27","17:09:51","Восточный Казахстан","QR Code","Швей[redacted]слав Валерьевич (ИС-102(с))
"2023-02-27","18:59:23","Восточный Казахстан","QR Code","Ожыкен[redacted]ур Мухтаровна (ИС-102(с))"
"2023-02-27","18:59:24","Восточный Казахстан","QR Code","Игенб[redacted]еля Жасулановна  (ИС-102(с)
"2023-02-27","18:59:29","Восточный Казахстан","QR Code","Ибра[redacted]аз Маратовна (ИС-102(с))","
"2023-02-27","19:02:27","Восточный Казахстан","QR Code","Некра[redacted]лан Александрович (ИС-102(с)
```

Рисунок 2 – Пример файла формата «csv»

Одним из подходящих приложений для создания QR-кодов, их поточного сканирования и экспорта во внешний «csv»-файл является «Сканер QR- и штрих-кодов» от немецкого разработчика «TeaCapps». Эта программа доступна как для Android [3], так и для iPhone [4].

Результаты и обсуждение

Дальнейшее развитие идеи сканирования QR-кодов для контроля посещаемости требовало создания компьютерной программы (анализатора) для анализа файлов формата «csv» с данными со сканера кодов. Была разработана функциональная схема обработки данных в анализаторе (рисунок 3).

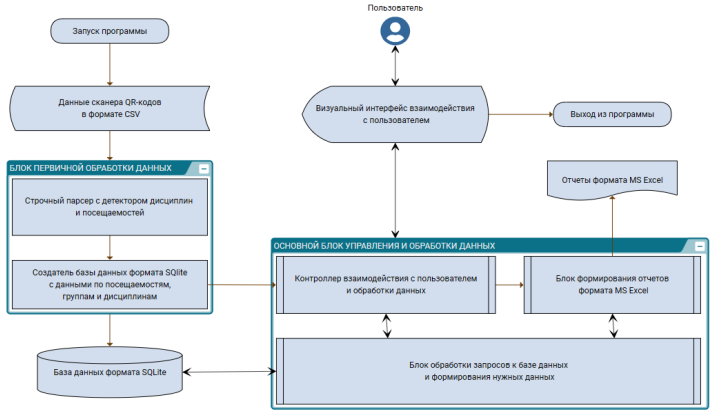


Рисунок 3 – Функциональная схема программы-анализатора

При запуске программы экспортированные данные посещений формата «csv» поступают в блок первичной обработки данных. Задачей данного блока является анализ каждой записи из «csv»-файлов и создания базы данных для дальнейшего анализа. Базу данных (БД) было решено использовать формата SQLite [5] как наиболее быструю и простую, подходящую для данной задачи, а сам программный код написать на Python 3 [6] с использованием графических библиотек PyQt5 [7] и библиотеки «xlsxwriter» [8] для экспорта данных в формат MS Excel.

Базовым ядром анализатора является основной блок управления и обработки данных. Данный блок непосредственно управляет визуальными компонентами программы при взаимодействии с пользователем, обращается к БД для получения нужных аналитических данных и формирует отчеты.

При старте анализатора открывается интерфейс, в котором преподаватель выбирает нужную для анализа дисциплину, группу, даты и время периода анализа, и вид отчета (рисунок 4). При выборе дисциплины автоматически будут отображаться только те группы, у которых была эта дисциплина. Даты и время анализа изначально автоматически устанавливаются на первое и последнее посещение студентами из имеющихся данных.

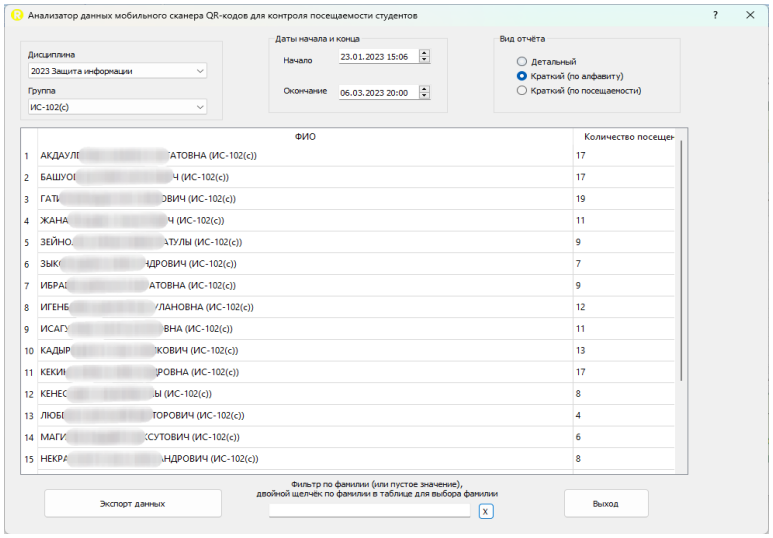


Рисунок 4 – Интерфейс программы (краткий отчет)

В таблице окна программы отображаются проанализированные данные. При выборе краткого отчета отображаются ФИО студента и общее

количество его посещений за выбранный период для данной дисциплины. Данные краткого отчета могут быть представлены отсортированными либо по фамилии, либо по количеству посещений. При выборе детального отчета в таблице будет отображен каждый факт посещения студентом дисциплины за указанный период, конкретная дата и время посещения (рисунок 5).

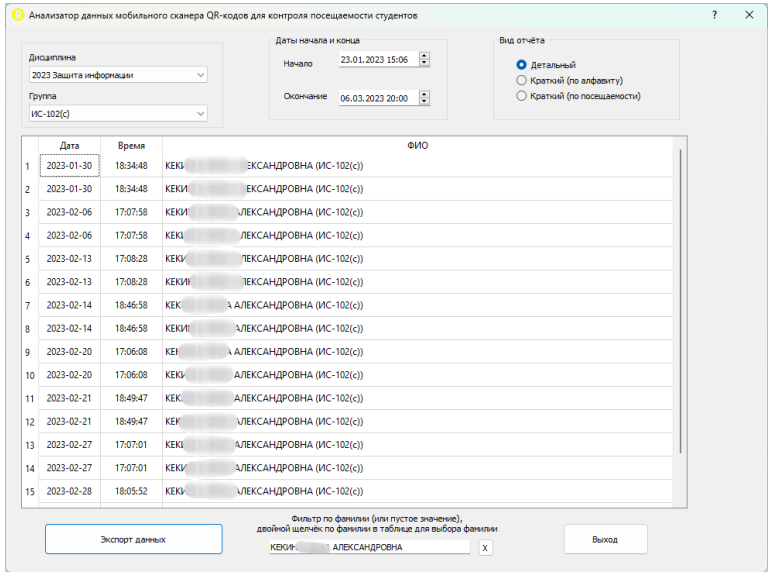


Рисунок 5 – Интерфейс программы (детальный отчет)

При двойном щелчке на фамилии студента его ФИО копируется в специальное поле фильтрации, и все данные отфильтровываются по этому конкретному студенту. Рядом с полем фильтрации имеется кнопка сброса фильтра.

Каждый из трех отчетов может быть экспортирован из программы в документ MS Excel по нажатию соответствующей кнопки. Пример отчета приведен на рисунке 6. Программа формирует документ формата «xlsx» (Office Open XML) [9] и автоматически открывает его установленным в компьютер офисным приложением [10].

Для выхода из программы можно использовать специальную кнопку выхода или просто нажать на значок выхода в окне программы.

	ОТЧЁТ ПО ПОСЕЩАЕМОСТИ	
	Краткий (по алфавиту)	от 29.03.2023 13:57:08
	по дисциплине:	2023 Защита информации
	группа:	ИС-102(с)
	Дата и время начала анализа:	2023-01-23 15:06:37
	Дата и время конца анализа:	2023-03-06 20:00:07
№	ФИО	Количество посещений
1	АКДАУЛЕ[illegible]А ТАЛГАТОВНА (ИС-102(с))	17
2	БАШ[illegible]Р МУРАТОВИЧ (ИС-102(с))	17
3	ГАТИ[illegible]І МУСЛИМОВИЧ (ИС-102(с))	19
4	ЖАН[illegible]КАНАТОВИЧ (ИС-102(с))	11
5	ЗЕЙН[illegible]Н БЕКБОЛАТУЛЫ (ИС-102(с))	9
6	ЗЫК[illegible]ЕКСАНДРОВИЧ (ИС-102(с))	7
7	ИБРА[illegible]АЗ МАРАТОВНА (ИС-102(с))	9
8	ИГЕНБ[illegible]КАСУЛАНОВНА (ИС-102(с))	12
9	ИСАГ[illegible]А БУЛАТОВНА (ИС-102(с))	11
10	КАДЫРЕ[illegible]М СЕРИКОВИЧ (ИС-102(с))	13
11	КЕКИН[illegible]КСАНДРОВНА (ИС-102(с))	17
12	КЕНЕС[illegible]БЕКУЛЫ (ИС-102(с))	8
13	ЛЮБЕН[illegible]ИКТОРОВИЧ (ИС-102(с))	4
14	МАГИТ[illegible]Р МАКСУТОВИЧ (ИС-102(с))	6
15	НЕКРАСС[illegible]АЛЕКСАНДРОВИЧ (ИС-102(с))	8
16	ОЖЫКЕН[illegible]УР МУХТАРОВНА (ИС-102(с))	12
17	ОРЫНБА[illegible]ТАН ЖАСКАЙРАТВИЧ (ИС-102(с))	2
18	ПАЙЧ[illegible]ИН ОЛЕГОВИЧ (ИС-102(с))	7
19	СУЛЕЙМЕН[illegible]А МУРАТОВНА (ИС-102(с))	17
20	ШВЕЙКИ[illegible]АВ ВАЛЕРЬЕВИЧ (ИС-102(с))	12

Рисунок 6 – Пример отчета в MS Excel

Выводы

Предложенная идея контроля посещаемости через QR-коды и последующий анализ данных имеет научную и техническую новизну в функциональной структуре и алгоритме обработки данных. Разработанная программа-анализатор показала свою практическую значимость, востребованность и актуальность в учебном процессе университета.

Список использованных источников

1 QR-код [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/QR-код

2 CSV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV

3 Сканер QR-и штрих-кодов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.teacapps.barcodescanner

4 QR Code & Barcode Scanner [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://apps.apple.com/us/app/qr-code-и-штрих-код-сканер/id1048473097

5 SQLite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/SQLite

6 Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Python

7 PyQt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/PyQt

8 XlsxWriter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pypi.org/project/XlsxWriter

9 Office Open XML [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Office_Open_XML

10 Офисный пакет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Офисный_пакет

References

1 QR-kod [QR code] [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/QR-код

2 CSV [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV

3 Skaner QR i shtrih-kodov [QR and barcode scanner] [Electronic resource]. – Access mode: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.teacapps.barcodescanner

4 QR Code & Barcode Scanner [Electronic resource]. – Access mode: https://apps.apple.com/us/app/qr-code-и-штрих-код-сканер/id1048473097

5 SQLite [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/SQLite

6 Python [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/Python

7 PyQt [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/PyQt

8 XlsxWriter [Electronic resource]. – Access mode: https://pypi.org/project/XlsxWriter

9 Office Open XML [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/Office_Open_XML

10 Ofisnyj paket [Office suite] [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/Офисный_пакет

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

**С. Н. Талипов*
Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

QR КОДТАРЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, СТУДЕНТТЕРДІҢ САБАҚҚА ҚАТЫСУ АНАЛИЗАТОРЫН ЖАСАУ

Студенттердің сабаққа қатысуын бақылау оқытушылар мен эдвайзерлердің міндеттерінің бірі болып табылады. Қағаз журналында белгіленген студенттерді шақырудың ескі әдісі қазіргі уақытта тиімсіз. Сабаққа қатысуды бақылау мәселесін шешу үшін осы процесті автоматтандырудың ыңғайлы және сенімді әдісін әзірлеу туралы шешім қабылданды. QR кодтарын пайдалану, оларды ағынды сканерлеу және кейіннен деректерді автоматты түрде өңдеу идеясы негіз ретінде қабылданды. Мұғалім өз пәндерінің атаулары үшін QR кодтарын жасайды және оларды телефондағы суреттер ретінде сақтайды, ал студенттер өздерінің тегі, аты, әкесінің аты және тобы үшін де солай жасайды. Сабақта мұғалім жүргізіліп жатқан пәннің QR коды бар суретті сканерлейді, содан кейін кезек-кезек әр оқушының QR кодын сканерлейді, ол оған телефоннан өз кодын көрсетеді. Осыдан кейін оқытушының QR-кодын сканерлеу бағдарламасында Пәндердің атауы, студенттердің аты-жөні, олардың топтары, сабақ күндері мен уақыты сақталады. Трафикті бақылау үшін кодты сканерлеу идеясын одан әрі дамыту QR код сканерінің деректері бар файлдарды талдау үшін компьютерлік бағдарлама (анализатор) құруды талап етті. Анализатордың деректерін өңдеудің функционалды схемасы, содан кейін анализатордың өзі жасалды. Анализатор басталған кезде интерфейс ашылады, онда мұғалім талдауға қажетті пәнді, топты, талдау кезеңінің күндері мен уақытын және есеп түрін таңдайды. Бағдарлама терезесінің кестесінде талданған деректер көрсетіледі. Қысқаша есепті таңдағанда, студенттің аты-жөні және осы пән үшін таңдалған кезеңге барудың жалпы саны көрсетіледі. Қысқаша есеп деректері тегі немесе келушілер саны бойынша сұрыпталуы мүмкін. Егжей-тегжейлі есепті таңдағанда, кестеде студенттің көрсетілген кезеңдегі пәнге баруының әрбір фактісі, барудың нақты күні мен уақыты көрсетіледі. Үш есептің әрқайсысы бағдарламадан MS Excel құжатына экспортталуы мүмкін. QR кодтары және одан кейінгі деректерді талдау арқылы қатысуды бақылау идеясы функционалдық құрылым мен деректерді өңдеу алгоритмінде ғылыми және техникалық жаңалыққа ие. Әзірленген анализатор бағдарламасы Университеттің оқу процесінде өзінің практикалық маңыздылығын, қажеттілігі мен өзектілігін көрсетті.

Кілтті сөздер: QR коды, сканерлеу, деректер, талдау, сапарлар.

S. N. Talipov
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 20.06.23.

DEVELOPMENT OF A STUDENT ATTENDANCE ANALYZER USING QR CODES

Monitoring student attendance is one of the tasks of teachers and advisors. The old method of roll-calling students with a note in a paper journal is currently ineffective. To solve the problem of attendance control, it was decided to develop a convenient and reliable way to automate this process. The idea of using QR codes, their in-line scanning and subsequent automatic data processing was adopted as a basis. The idea is that the teacher generates QR codes for the names of their disciplines and saves them as images in the phone, and students do the same for their last name, first name, patronymic and group. During the lesson, the teacher scans the image with the QR code of the discipline being conducted, and then, in turn, line-by-line scans the QR code of each student who shows him their code from the phone. After that, the name of the subjects, the full name of the students, their groups, dates and times of classes are saved in the teacher's QR code scanner program. Further development of the idea of scanning codes for attendance control required the creation of a computer program (analyzer) for analyzing data files from a QR code scanner. A functional data processing scheme of the analyzer was developed, and later the analyzer itself. When the analyzer starts, an interface opens in which the teacher selects the discipline, group, dates and time of the analysis period, and the type of report needed for analysis. The analyzed data is displayed in the program window table. When selecting a summary report, the student's full name and the total number of his visits for the selected period for this discipline are displayed. The summary report data can be presented sorted either by last name or by the number of visits. When selecting a detailed report, the table will display each fact of the student's visit to the discipline for the specified period, the specific date and time of the visit. Each of the three reports can be exported from the program to an MS Excel document. The proposed idea of attendance monitoring through QR codes and subsequent data analysis has a scientific and technical novelty in the functional structure and algorithm of data processing. The developed analyzer program has shown its practical significance, relevance and relevance in the educational process of the university.

Keywords: QR code, scanning, data, analysis, visits.

ҒТАМР: 45.41.33

https://doi.org/10.48081/BPZT9802

***Д. М. Чныбаева[1], Ю. А. Цыба[2]**

[1,2]Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: danna_shyn@mail.ru; d.chnybaeva@aues.kz

СЫМСЫЗ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ ҚҰРАЛДАРЫМЕН МАГИСТРАЛЬДЫҚ ҚҰБЫРДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІ

Әдеби патенттік зерттеулердің негізінде зияткерлі сымсыз өлшеуіштер базасында айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан, магистральдық құбырдың (МҚ) технологиялық және техникалық мониторингі элементтерінің қолайлы радиорелелік байланыс желісі бойынша өлшенген деректерді нақты уақыт режиміне бере отырып, компрессорлық және сорғы станцияларының электр жетектерінің сандық инвариантты жиіліктік-реттелетін электр жетегімен ауытқу әсерлерді шектейтін жүйе ұсынылды.

Сымсыз сенсорлық технологияны сандық жоғары вольтты жиілікпен реттелетін электр жетегіне (ЖРЭЖ) біріктіру МҚ бүкіл ұзындығы бойынша айдау ортасының қысымы мен температурасының шамаларын автоматты түрде бақылауға және оңтайландыруға, сондай-ақ оның тұтастығын бақылауға және зияткерлі сымсыз өлшеуіштермен өлшенетін берілген және ағымдағы деректер мәндерін салыстыруға, стохастикалық сипаттағы жағымсыз әсерлердің параметрлеріне байланысты тасымалданатын газдың немесе мұнайдың ағып кетуін уақтылы анықтауға мүмкіндік береді. Сондықтан жүйе сымсыз діріл өлшеуіштерімен жабдықталған, олар нақты және нақты қауіп анықталған кезде ғана операторларға дабыл беруге арналған. Дабылды қабылдау араласу тобы және патрульдік көліктердегі күзетшілер апатты дереу жоюға кіріседі.

Компрессордың электр қозғалтқышының қажетті айналу жылдамдығын есептеу және МҚ-да табиғи газдың қажетті қысымын алу үшін компьютерлік модель жасалды. MATLAB Simulink бағдарламасында компьютерлік модельде жүргізілген зерттеулер, статикалық және динамикалық режимдер МҒ мониторингі жүйесінің түзету сигналының қажетті мәндерін және оларды оңтайландыру мақсатында МҒ-ғы газ қысымы мен температурасының технологиялық параметрлерінің ауытқу өзгерістеріне барынша сезімталдық қамтамасыз етілетін ЭҒАА электр жетегінің жылдамдығы бойынша кері байланысты күшейту коэффициентін анықтауға мүмкіндік берді.

Кілтті сөздер: магистральдық газ құбыры, компрессорлық станция, газ айдау агрегаты, электр жетегі, жиілікті түрлендіргіш, асинхронды қозғалтқыш, технологиялық мониторинг.

Кіріспе

Магистральдық газ құбырларын (МҚ) және магистральдық мұнай құбырларын (ММҚ) жатқызуға болатын магистральдық құбырлардың (МҚ) қауіпсіз жұмысының негізі газдың немесе мұнайдың қысымы мен температурасын бақылау, сондай-ақ газ не мұнайдың шығып кетуін уақтылы анықтау есебінен шығындарды азайту болып табылады (1 %-дан аспайды). Сондай-ақ, кен орындары мен түпкілікті тұтынушы арасындағы мұнай мен газ өндірудің барлық инфрақұрылымы аясында МҚ желісі терроризмге, қасақаналыққа және ұрлыққа әрқашан бейім болғанын, оның кең және үлкен ұзындығын ескере отырып, жүздеген және мыңдаған шақырымға дейін болғанын атап өткен жөн. Сонымен қатар, осы уақытқа дейін осындай факторлардың әсерінен болатын зияннан қорғаудың тиімді шешімі болған жоқ.

Өлшеуіштермен (мысалы, температура, қысым, жарық, діріл деңгейі, орналасқан жері және т.б.) берілген жиілік арақашықтығында, сымсыз сенсорлық технологияны біріктіру жұмыс істейтін таратқыштармен жабдықталған және шағын есептеу мот құрылғыларына негізделген, сандық жоғары вольтты жиілікпен реттелетін электр жетегі магистральдық құбырдың бүкіл ұзындығы бойынша технологиялық параметрлерді автоматты түрде басқаруға және оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Сондықтан, сымсыз сенсорлық мониторинг және компрессорлық станциялардың (КС) немесе сорғы станцияларының (СС) сандық жиілікті реттелетін электр жетегі арқылы технологиялық параметрлерді оңтайландыру және МҚ тұтастығын бақылау өзекті ғылыми - техникалық міндет болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Сандық көп деңгейлі жоғары вольтты жиілік түрлендіргіштері (ЖТ) және шағын есептеу мот құрылғылары негізінде КС-ң немесе СС-ң асинхронды жиілікті реттелетін электр жетегі және МҚ технологиялық параметрлерін мониторингтеу жүйесі болып табылады.

Зияткерлік сымсыз қысым, температура өлшеуіштері және сейсмикалық өлшеуіштері негізінде МҚ бойынша айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан, технологиялық параметрлердің сызықты мониторингімен айдау агрегаттарының (АА) электр жетегін автоматты басқарудың инвариантты жүйесін әзірлеу, бұл осы параметрлердің ауытқуларын бақылауға және жоюға, сондай-ақ МҚ кез келген жұмыс режимдерінде газдың шығып кету мен зақымдану жағдайларын анықтауға мүмкіндік береді.

Әдеби - патенттік зерттеулер негізінде зияткерлік сымсыз өлшеуіштерді пайдалану отырып, технологиялық және техникалық мониторинг элементтерінің оңтайлы конфигурациясы және айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан, сандық инвариантты жиілікпен реттелетін КС немесе СС электр жетегімен қалыпсыз ауытқу әсерлерді жоя отырып, нақты уақыт режимінде радиорелелік байланыс желісі бойынша өлшенген деректерді беру ұсынылды. Әзірленген жүйені модельдеу, талдау және синтездеу үшін MATLAB бағдарламаланатын кешені пайдаланылды.

МГ-ң компрессорлық станциялары мен ММ-ң сорғы станциялары энергетикалық жабдықтармен жабдықталған, АА айдау агрегатының көмегімен сұйық немесе газ тәрізді ортаны тасымалдауды қамтамасыз ететін МҚ ажырамас және құрамдас бөлігі болып табылады және МҚ жүйесінде басқару элементі ретінде қызмет етеді. Бұл МҚ-ң жұмыс режимін анықтайтын және сұйық және газ тәрізді орталарды тасымалдау өнімділігіне, станциялардың (компрессорлық немесе сорғы) жұмысының технологиялық параметрлеріне (қысым, температура, діріл) әсер етеді [1].

Сорғы ортасы МҚ-ң бойымен қозғалған кезде, ағынның құбыр қабырғасына үйкелісіне байланысты қысым шығыны болатыны белгілі. Қысымның төмендеуі МҚ-ң өткізу қабілетінің төмендеуіне әкеледі және сонымен бірге тасымалданатын ортаның температурасын төмендетеді. Айдау ортасының берілген шығынын ұстап тұру және құбырдағы оңтайлы қысымды қамтамасыз ету үшін айдау ортасының түріне байланысты МҚ трассасы бойымен белгілі бір қашықтықтар арқылы КС немесе СС орнатылады. Мысалы, тәулігіне 90 млн. м3/ тәулігіне газ айдау кезінде, диаметрі 1400 мм құбыр бойымен ұзындығы 110 км аймақта, қысым 7,6-дан 5,3 МПа-ға дейін төмендейді. Компрессорлық станцияларда (КС) газ қысымын арттыру ортадан тепкіш үдеткіштердің көмегімен бір, екі немесе үш сатыда жүзеге асырылады. Бұл ретте МҚ-ң оңтайлы жұмыс режимі оның өткізу қабілетін айдау және тасымалдауға жұмсалатын ең аз энергия шығыны кезінде барынша пайдаланудан тұрады. Газды МҚ-мен тасымалдау кезінде газдың шығып кету жағдайында оның қысымы мен температурасының қалыптан тыс өзгеруі мүмкін екенін атап өткен жөн. Технологиялық сұлба мұнайды тасымалдау, өзінің бірқатар ерекшеліктеріне ие бола отырып, бүкіл ММ

трассасының бойында мұнайдың шығып кетуін анықтайтын қысым мен температура сияқты технологиялық параметрлерді бақылауға ұқсас талаптар қояды [1].

Сондықтан параметрлерді бақылау МҚ немесе оның жабдықтары үшін қауіпті жұмыс режимі туындауы мүмкін технологиялық сұлбаның барлық нүктелерінде орындалуы керек. Үдерістің барысын бақылауға және автоматты қорғауға арналған технологиялық параметрлерді өлшеу нүктелері әдетте сәйкес келеді.

МҚ-ң негізгі технологиялық параметрлерін қашықтықтан басқару керек, оларға мыналар жатады:

- құбыр ішіндегі газ немесе мұнай қысымы;
- газ немесе мұнай температурасы және температура әсерлері;
- сейсмикалық және діріл әсерлері.

Қазіргі уақытта мұнай - газ саласында электр жетегін бақылау және басқару үшін қолданылатын сымды және сымсыз ақпарат беру құралдары бар [2, 3, 4, 5].

Алайда, қазіргі уақытта МҚ мониторингінің көптеген әдістері мен құралдарына қарамастан, олар тек айдалатын ортаның технологиялық параметрлерін ғана емес, сонымен қатар оның техникалық жағдайын да тиімді бақылауды қамтамасыз етпейді.

Нәтижелер мен талқылаулар

Технологиялық параметрлерді бақылау бойынша ең жақын техникалық шешім - МҚ-ң әрбір желілік аймағының басында барлық (КС) орнатылған жиілікті реттелетін электр жетекті газ айдау агрегаттары (ЭГАА) және ауаны салқындату аппараттарының (АСА) желдеткіштері арқылы сығылған газ ағынының қысымы мен температурасын қалыптастырудан тұратын газды магистральдық тасымалдау тәсілі болып табылады [6]. Бұл ретте құбырдағы газ қысымы мен температурасының ағымдағы мәндеріне, газ қысымы мен температурасының өлшеуіштерімен өлшенетін газ қысымы мен температурасының ағымдағы мәндеріне, қысым мен температураның берілген параметрлеріне, сондай-ақ стохастикалық сипаттағы Мазалайтын әсерлердің параметрлеріне байланысты ЭГАА және АСА көмегімен газ қысымы мен температурасының шамалары автоматты түрде орнатылады және біркелкі реттеледі. Бұл жүйенің кемшілігі – қысым мен температура тек КС шығысында бақыланады, бірақ олардың нақты мәндері бүкіл МҚ жолында ескерілмейді, сонымен қатар МҚ зақымданған және оны тасымалдау кезінде газ шығып кеткен жағдайда құбырдағы газ қысымы мен температурасының қалыптан тыс өзгеруін бақылау жүргізілмейді.

Осы мақалада қарастырылған технологиялық параметрлерді бақылаудың ең жақын техникалық шешімі – магистральді газ (МГ) құбырының әрбір

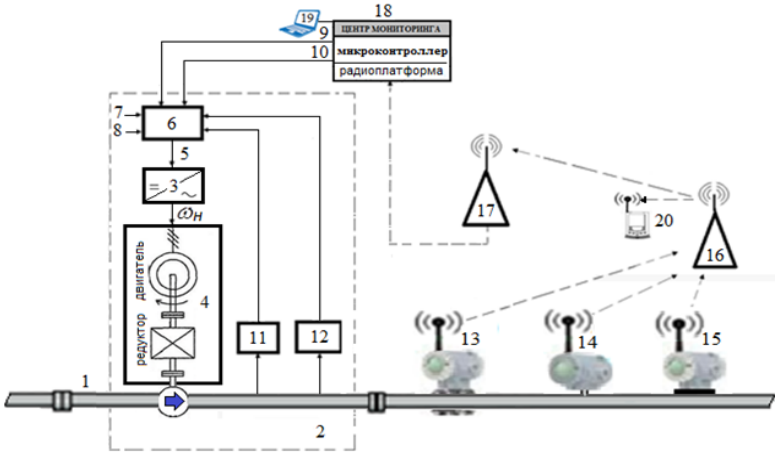
желілік аймағының басында барлық компрессорлық станцияда (КС) орнатылған жиілікті реттелетін электр жетекті газ айдау агрегаттары (ЭГАА) мен ауаны салқындату аппараттарының желдеткіштері (АСА) арқылы сығылған газ ағынының қысымы мен температурасын қалыптастырудан тұратын газды магистральдық тасымалдау әдісі болып табылады [6]. Бұл ретте құбырдағы газдың қысымы мен температурасының ағымдағы мәндеріне, газдың қысымы мен температурасының өлшеуіштерімен өлшенетін, берілген қысым параметрлері мен тиісті (МГ) аймағының температурасына, сондай-ақ стохастикалық сипаттағы ауытқу әсерлердің параметрлеріне байланысты ЭГАА және АСА көмегімен газдың қысымы мен температурасының шамалары автоматты түрде орнатылады және біркелкі реттеледі. Бұл жүйенің кемшілігі – қысым мен температура тек КС шығысында бақыланады, бірақ олардың нақты мәндері бүкіл МГ жолында ескерілмейді, сонымен қатар МГ зақымданған және оны тасымалдау кезінде газдың шығып кеткен жағдайда құбырдағы газ қысымы мен температурасының қалыптан тыс өзгеруін бақылау жүргізілмейді.

Бүкіл әлемде жоғары сапалы және сандық дамуға қол жеткізген сандық радиорелелік желілерді (РРЖ) дамыту қазіргі уақытта жиіліктің белгілі бір диапазонында жұмыс істейтін сандық сенсорлар мен таратқыштармен жабдықталған миниатюралық есептеу мот құрылғыларынан тұратын сымсыз сенсорлық желілерді дамытуда өте қажет буын болды. Әрбір мот өлшеу жүргізуге, деректерді бастапқы өңдеуді дербес жүргізуге және сыртқы ақпараттық жүйемен байланыста болуға мүмкіндік береді. Сымсыз желіге біріктірілген өлшеуіштер ақпаратты жинау, өңдеу және берудің аумақтық бөлінген, өзін-өзі ұйымдастыратын жүйесін құрайды. Икемді архитектура, орнату шығындарының төмендеуі зияткерлік өлшеуіштердің сымсыз желілерін сымды деректер интерфейстерінен ажыратады, әсіресе бір-бірімен байланысқан көптеген құрылғыларға қатысты. Қолданылатын өлшеуіштер күрделі жағдайларда жұмыс істей алатындығын атап өткен жөн, мұнда қызметкерлермен алған деректерді үнемі бақылау мүмкін емес, ал жоғары дәлдік пен беру жылдамдығы жаңартудың аз уақытымен (WSN) қамтамасыз етіледі [7, 8].

Сымсыз сенсорлық технологияны сандық жоғары вольтты жиілікті реттелетін электр жетегіне (ЖРЭ) біріктіру МҚ бүкіл ұзындығы бойынша айдау ортасының қысымы мен температурасының шамаларын автоматты түрде бақылауға және оңтайландыруға, сондай-ақ оның тұтастығын бақылауға және тасымалданатын газдың немесе мұнайдың шығып кетуін уақтылы анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қазіргі уақытта шетелдік және ресейлік фирмалар шығаратын жоғары вольтты жиілік түрлендіргіштерін (ЖВЖТ) талдау көрсеткендей, микропроцессорлық басқарумен дербес кернеу инверторының (КДЖВЖТ) түрі бойынша зияткерлік бір фазалы төмен вольтты ЖР каскадты байланысы бар көп деңгейлі топология болашағы мол болып табылады [9, 10].

Жоғарыда айтылғандарға сәйкес, осы мақаланың авторлары нақты уақыт режимінде МҚ технологиялық және техникалық мониторинг әдісі мен жүйесін ұсынды, бұл бақылаудың дұрыстығын арттыра отырып, МҚ жұмысының кез келген режимі кезінде басқару тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді, апаттық жағдайларды болдырмайды және осылайша мұнай құбырларын немесе газ құбырларын пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз етеді [11].

1 суретке сәйкес магистральдық құбырлардың технологиялық параметрлерін мониторингтеу жүйесі келтірілген, 2 – айдау станциясы, айдау ортасының түріне байланысты: КС – газ құбырлары үшін, МС – мұнай құбырлары үшін арналған. 2 – айдау станциясы 1 – МҚ әрбір желілік аймағында орнатылады және 3 – микропроцессорлық басқарылатын КДЖВЖТ және 6 – реттеу параметрлерін есептеу блогы бар 4 – АА-мен жабдықталған. Сондай-ақ, жүйеде өлшеуіш жиынтығы 11, 12 байланыс өлшеуіштерінен, станцияның шығуындағы айдалатын ортаның нақты қысым мен температура мәндерін және магистральдық құбырдың диагностикалық нүктелеріндегі сымсыз сандық 13, 14, 15 қысым, температура және діріл өлшеуіштерінен тұрады. Жүйеге МҚ трассасының бойында орнатылған 16 радиорелелік релелік станциялар және 19 жүйелік компьютерге қосылған және де радио платформасы бар микроконтроллермен жабдықталған, 18 мониторинг орталығы орнатылған диспетчерлік пункттің жанында орналасқан радиорелелік жабдығы бар 17 базалық станция кіреді. МҚ зақымдану орнын 20 тасымалды далалық компьютерлер анықтайды.



Сурет 1 – МҚ бір сызықтық аймағында технологиялық параметрлерді мониторингтеудің сымсыз желісінің құрылымдық сұлбасы

МҚ бүкіл ұзындығы бойынша технологиялық параметрлерді мониторингтеу тәсілі мынада: 13, 14 сандық өлшеуіштерден және айдалатын ортаның температурасынан радиосигналдың көмегімен алынған деректер 16 релелік радиорелелік станциялар арқылы 17 базалық станцияға 18 мониторинг орталығына беріледі, МҚ жолының бойындағы тиісті нүктелерде, микроконтроллер микропроцессорында процессордың жадында сақталған қысым мен температураның тиісті номиналды мәндерімен салыстырылады.

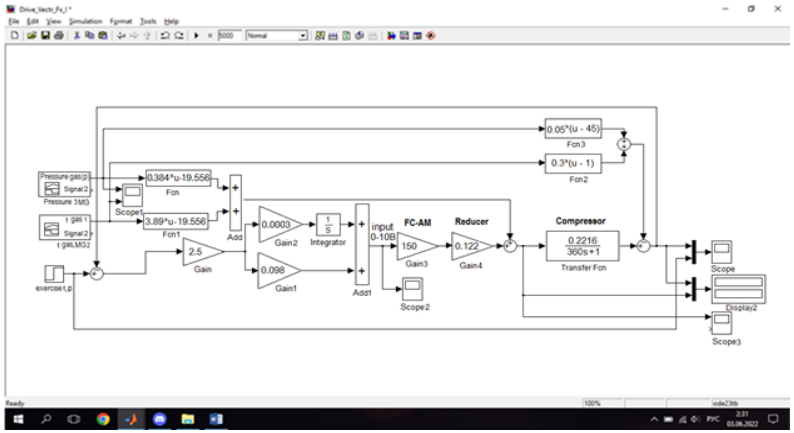
Нәтижесінде осы параметрлердің ауытқулары болған жағдайда 9 қысым мен 10 температура бойынша түзету сигналдары есептеледі. Бұдан әрі 9 және 10 түзету сигналдары 6 реттеу параметрлерін есептеу блогына беріледі, ол 7 қысымның және 8 температураның берілген мәндерін станциялардың шығысында орнатылған 11, 12 байланыс өлшеуіштерінен қысым мен температура мәндерімен салыстыра отырып, 5 басқару сигналы көп деңгейлі жоғары вольтты 3 – КДЖВ түрлендіргішіне беріледі. МҚ технологиялық параметрлерінің күйін ескеретін 5 басқару сигналы айдау агрегатының АҚ (ωн) айналу жиілігін түзетеді, осылайша айдалатын ортаның қысымы мен температурасын берілген мәндерге келтіреді. Технологиялық параметрлердің жоғарыда аталған барлық мәндерін есептеу нәтижелері бойынша МҚ бүкіл трассасында қысым мен температураны оңтайландыру мақсатында айдау агрегатының АА айналу жылдамдығын басқару мүмкіндігі жүзеге асырылады. Сонымен қатар, алынған деректерді есептеу нәтижесінде диспетчердің 19 жүйелік компьютеріне шығарылатын апаттық аймақтарды есептеумен параметрлердің қалыпсыз ауытқулары анықталады.

15 діріл өлшеуіші операторларға дабыл беруге, нақты және нақты қауіп анықталған кезде ғана арналған. Белгілі бір идентификаторы бар өлшеуіштің сезімтал блогынан радиожиілік байланысы арқылы жіберілген дабылды басқару орталығының операторы қабылдайды және 19 жергілікті компьютерде және 20 тасымалды далалық компьютерлерде апат орны карта түрінде көрсетіледі. Дабыл алған кезде араласу тобы (сызық бойында орналасқан) және патрульдік көліктердегі күзетшілер апатты дереу жоюға кіріседі.

Ұсынылған жүйенің артықшылығы технологиялық үдерістің жоғары энергия тиімділігі болып табылады, ол жиілікті реттелетін электр жетекті АА-мен қамтамасыз етіледі, сонымен қатар құбырдың тұтастығын анықтау үшін оның техникалық жағдайын бақылаудың сенімділігі, бұл кез-келген жұмыс режимінде оның пайдалану қауіпсіздігін арттырады.

Қазіргі уақытта сандық ЭЕМ, кең мақсаттағы заманауи әдістермен зерттеу жүргізуге мүмкіндік беретін әмбебап бағдарламалық құралдармен жабдықталған. Атап айтқанда, мұндай құралдарға MATLAB Simulink бағдарламаланатын кешені – блоктар кітапханасына және басқару немесе реттеу объектісінің математикалық моделіне негізделген динамикалық жүйелерді модельдеуге, талдауға және синтездеуге арналған интерактивті құрал [12, 13].

Технологиялық параметрлерді басқару мен бақылаудың сәйкестігін тексеру үшін жүйенің символдық түрдегі қозғалысының математикалық сипаттамасы беріледі және оның орнықтылығын анықтау бағдарламасы келтіріледі, ол Simulink пакетінде виртуалды модельдеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін ЭГАА ЖТЖ үшін Matlab алгоритмдік тілінде ұсынылған [14]. 2 суретте ЭГАА АБЖ виртуалды моделінің құрылымдық сұлбасы келтірілген, мұнда ЭГАА ЖТЖ басқару арналарының параметрлері және газдың шығыс қысымы бойынша кері байланыс газ тасымалдау жүйелері мен КС МҚ нақты іске асыруларына жеке беріледі. Бұл жағдайда сандық деректер бес агрегаттық электр жетегінің нұсқаларының біріне сәйкес келеді, ал модельдің тікелей басқару арнасының барлық динамикалық байланыстарының берілу функциялары [15, 16] алынған өрнектерге сәйкес келеді.



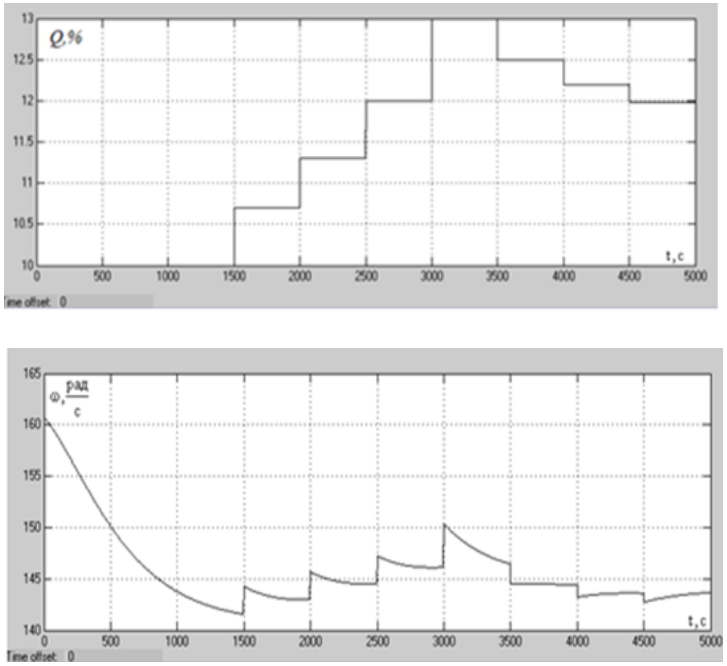
Сурет 2 – ЭГАА АБЖ моделінің құрылымдық диаграммасы және ақаулар болған кезде МҚ технологиялық параметрлерін мониторингтеу

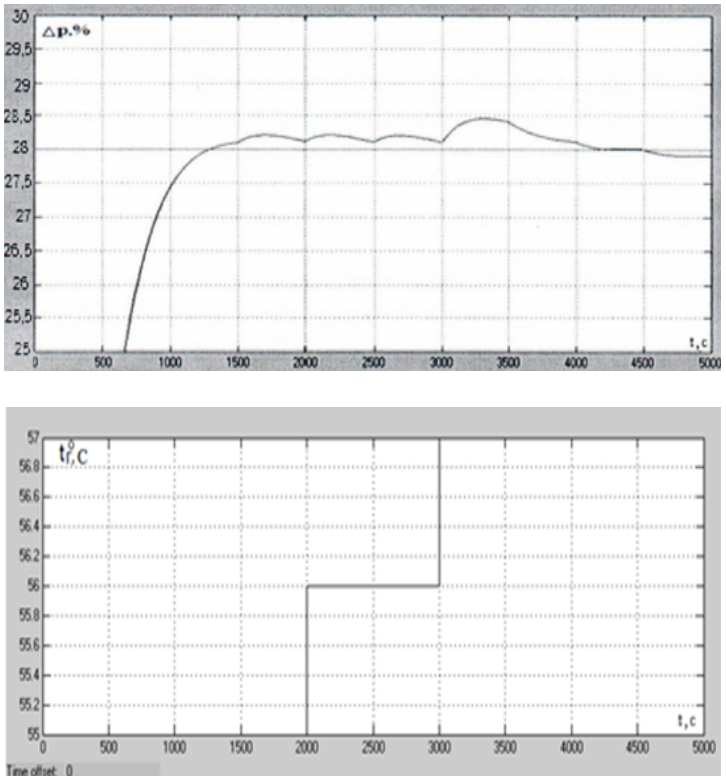
ЭГАА-дағы ақаулықтардың әсерін имитациялау үшін жүйеге температура мен газ қысымының өсуін қамтамасыз ететін екі функционалды түрлендіру блогы енгізілді.

Қолданылатын сыртқы әсерлердің сызықтығы тәулік бойы минут-сағат ішінде айтарлықтай өзгеретін климаттық, табиғи немесе метеорологиялық факторларға тән стохастикалық ақауларға тән. Технологиялық ақаулар анағұрлым динамикалық, бірақ олардың газ тасымалдау жүйелерінің жылу техникалық және гидродинамикалық қасиеттеріне байланысты инерциясы бірнеше рет жылдам электромеханикалық бөліктің инерциясымен салыстыруға келмейді.

Сондықтан ЭГАА АБЖ-дағы сыртқы өлшеуіштерден деректерді оқу белгілі бір дискреттілікпен жүреді, ол бір жағынан техникалық орындылығымен және КС АБЖ бағдарламалық қамтамасыз ету пакетінің нақты функционалдылығымен және екінші жағынан барлық КС жүйелерін бақылаудың сервистік өнімдерімен қанықтылығымен анықталады. Басқару жүйесіндегі барлық есептеулер ЕИМ кезеңімен басқару жүйесін дискретизация аралығы болып табылатын бір кезеңінде жүргізілуі керек. Бұл жағдайда басқару объектісінің математикалық моделі (қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыш) бірдей кванттау аралығына ие болуы керек.

Газ тасымалдау жүйесіндегі нақты ақаулар біртіндеп өзгереді. Әсер ету сатысы ақпаратты түсірудің және ЭГАА-ның берілген айналу жылдамдығын есептеудің осы дискреттілігін айқын көрсетеді (3 сурет).





Сурет 3 – Ақпаратты дискретті түсірудің ЭГАА жұмысын модельдеу

Көріп отырғаныңыздай, осциллограммалар (3 сурет) газды тұтынудың жоғарылауымен *Q%* компрессордың өнімділігі артады, оның айналымдарының санын көбейту арқылы (ω^1/рад), газ қысымы (Δp%) бастапқы сәтте МҚ-да біршама артады, содан кейін оны тұрақтандырады. Бұл жағдайда газдың температурасы (t^0г, С) МҚ-да сәйкес жоғарылайды [1].

Осылайша, модельдеу бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде негізгі технологиялық параметрдің ауытқуын – табиғи газдың МҚ-дағы қысымын тіркейтін және кейіннен оны тұрақтандырумен қажетті қысымды алу үшін ЭГАА электр қозғалтқышының қажетті айналу жылдамдығын есептеуге мүмкіндік беретін компьютерлік модель жасалғанын айтуға болады. Дербес компьютерде (ДК) іске асырудың дәлдігі мен қарапайымдылығы бойынша қолайлы сызықтық модель болып табылады.

Қорытынды

Компрессорлық немесе сорғы станцияларының сандық инвариантты жиілік-реттелетін электр жетегімен қалыпсыз ауытқу әсерлерді жою отырып, нақты уақыт режимінде радиорелелік байланыс желісі бойынша өлшенген деректерді бере отырып, зияткерлік сымсыз өлшеуіштер базасында айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан магистральдық құбырдың (МҚ) технологиялық және техникалық мониторингі элементтерінің оңтайлы конфигурациясы ұсынылды. Мониторинг жүйесі сонымен қатар, магистральдық құбырдың кез келген жұмыс режимінде газдың не мұнайдың шығып кету және зақымдану жағдайларын анықтауға мүмкіндік береді.

MATLAB Simulink бағдарламаланатын кешенінің ортасында компьютерлік модельде жүргізілген зерттеулер, статикалық және динамикалық режимдер МҚ мониторингі жүйесінің түзету сигналының қажетті мәндерін және оларды оңтайландыру мақсатында МҚ-дағы газ қысымы мен температурасының технологиялық параметрлерінің қалыптан тыс өзгерістеріне барынша сезімталдық қамтамасыз етілетін ЭГАА электр жетегінің жылдамдығы бойынша кері байланысты күшейту коэффициентін анықтауға мүмкіндік берді.

Жүйенің өтпелі кезеңдерінің уақытша диаграммалары алынды, оның өзгеретін сыртқы жағдайларға реакциясы, жүйенің әсер етудің дұрыстығы тексерілді. Дербес компьютерде іске асырудың дәлдігі мен қарапайымдылығы бойынша қолайлысы – сызықтық модель болып табылды.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Коршак, А. А., Шаммазов, А. М.** Основы нефтегазового дела : учебник для ВУЗов [Мәтін]. – Уфа, 2001. – 544 с.

2 Телекоммуникационная технология PLC (Power Line Communication). [Электронды ресурс]. – http://network.xsp.ru/5_5.php.

3 **Шаклеин, С. С., Абрамов, М. В.** Способ мониторинга технического состояния трубопровода и система для его осуществления. Патент на изобретение RU №2563419 – Опубл. 20.09.2015, БИ. № 26.

4 **Пужайло, А. Ф., Савченков, С. В., Реунов, А. В., Карнавский, Е. Л., Цыс, В. М., Свердлик, Ю. М., Баранов, В. Г., Милов, В. Р.** Способ мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода и система для его реализации. Патент на изобретение RU №2451874 – Опубл. 27.05.2012, БИ. № 15.

5 **Карандин, В. Н, Бабёнышев, Д. П.** Способ контроля и регулирования режима работы трубопровода и система для его осуществления. Патент на изобретение RU №2304740 – Опубл. 20.08.2007, БИ. № 23.

6 **Пужайло, А. Ф., Крюков, О. В., Репин, Д. Г.** Способ магистрального транспорта газа. Патент на изобретение №2502914 МПК F17D1/02. ОАО «Гипрогазцентр». Опубл. 27.12.2013, БИ. № 36.

7 **Mohamed, N., Jaroodi, J. A., Jawhar, I., Eid, A.** Reliability analysis of linear wireless sensor networks // In Proc. IEEE 12th Symp. Netw. Comput Appl., Aug. 2013. – 11–16 p.

8 **Salman, A., Adnan, A., Saad Bin, Q.** SimpliMote : A Wireless Sensor Network Monitoring Platform for Oil and Gas Pipelines // In Proc. IEEE Symp. Wireless Telecomm. – Apr. 2016. – 20–25 p.

9 **Онищенко, Г. Б.** Энергоэффективность электроприводных газоперекачивающих агрегатов [Мәтін] // Промышленная энергетика. – 2014. – № 8. – 23–29 с.

10 **Краснов, Д. В., Онищенко, Г. Б.** Оценка потребности в высоковольтных регулируемых электроприводах переменного тока [Мәтін]. // Известия ТулГУ. Технические науки. – Вып. 3. – Ч.1. – 73–81 с.

11 **Чныбаева, Д. М., Цыба, Ю. А. Кузьмин, Ю. В., Шыныбай, Ж. С., Алмуратова, Н. К.** Способ и система мониторинга технологических параметров магистральных трубопроводов. Патент на полезную модель РК №6773. Полное описание полезной модели к патенту доступно на официальном сайте www.kazpatent.kz в разделе «Государственный реестр полезных моделей Республики Казахстан» от 24.12.21. [Электронный ресурс].

12 **Терёхин, В. Б.** Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1) : учебное пособие [Мәтін]. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета. 2008. – 320 с.

13 **Кудинов, Ю. И.** Теория автоматического управления (с использованием MATLAB-SIMULINK) : учебное пособие [Мәтін]. – СПб., 2016. – 256 с.

14 **Чныбаева, Д. М., Цыба, Ю. А., Шадхин, Ю. И.** Matlab ортасында жетектің асинхронды жиілік – ток жүйесінің орнықтылығын зерттеу [Мәтін] – Торайғыров университетінің Хабаршысы. – 2021. – № 2. – 198–208 б.

15 **Васенин, А. Б., Крюков, О. В., Степанов, С. Е.** Результаты компьютерного моделирования синхронных машин при работе на вентиляторную нагрузку // Труды XV МНТК «Электроприводы переменного тока (ЭППТ – 2012)» [Мәтін]. – Екатеринбург, 12–16 марта, 2012. – 139–142 с.

16 **Пужайло, А. Ф., Савченков, С. В., Крюков, О. В. и др.** Электроприводы объектов газотранспортных систем : монография серии «Научные труды к 45-летию ОАО «Гипрогазцентр» [Мәтін]. – Нижний Новгород, 2013. – 300 с.

References

1 **Korshak, A. A., Shammazov, A. M.** Osnovy neftegazovogo dela : Uchebnik dlya VUZov [Fundamentals of oil and gas business : Textbook for universities] [Text]. – Ufa, 2001. – 544 p.

2 Telekommunikatsionnaya tekhnologiya PLC [Telecommunication technology PLC Power Line Communication] [Electronic resource]. – http://network.xsp.ru/5_5.php.

3 **Shaklein, S. S., Abramov, M. V.** Sposob monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya truboprovoda i sistema dlya yego osushchestvleniya. Patent na izobreteniye RU [A method for monitoring the technical condition of a pipeline and a system for its implementation. Patent for invention RU] [Text]. № 2563419 – Publ. 09/20/2015, № 26.

4 **Puzhailo, A. F., Savchenkov, S. V., Reunov, A. V., Karnavsky, E. L., Tsys, V. M., Sverdlik, Yu. M., Baranov, V. G., Milov, V. R.** Sposob monitoringa i otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya magistralnogo truboprovoda i sistema dlya yego realizatsi. Patent na izobreteniye RU [Method for monitoring and assessing the technical condition of the main pipeline and a system for its implementation. Patent for invention RU] [Text] № 2451874 – Publ. 05/27/2012, № 15.

5 **Karandin, V. N., Babenyshev, D. P.** Sposob kontrolya i regulirovaniya rezhima raboty truboprovoda i sistema dlya yego osushchestvleniya. Patent na izobreteniye RU. [A method for monitoring and regulating the operating mode of a pipeline and a system for its implementation. Patent for invention RU] [Text] № 2304740 – Publ. 08/20/2007, № 23.

6 **Puzhailo, A. F., Kryukov, O. V., Repin, D. G.** Sposob magistralnogo transporta gaza. Patent na izobreteniye [Method of main gas transport. Patent for invention] [Text] № 2502914 IPC F17D1/02. – JSC «Giprogaztsentr». – Published. December 27, 2013, № 36.

7 **Mohamed, N., Jaroodi, J. A., Jawhar, I., Eid, A.** Reliability analysis of linear wireless sensor networks // In Proc. IEEE 12th Symp. Netw. Comput Appl., Aug. 2013. – 11–16 p.

8 **Salman, A., Adnan, A., Saad Bin, Q.** SimpliMote : A Wireless Sensor Network Monitoring Platform for Oil and Gas Pipelines // In Proc. IEEE Symp. Wireless Telecomm. – Apr. 2016. – 20–25 p.

9 **Onishchenko, G. B.** Energoeffektivnost elektroprivodnykh gazoperekachivayushchikh agregatov [Energy efficiency of electrically driven gas pumping units] [Text] // Industrial Energy. – 2014. – № 8. – 23–29 p.

10 **Krasnov, D. V., Onishchenko, G. B.** Otsenka potrebnosti v vysokovoltnykh reguliruyemykh elektroprivodakh peremennogo toka [Assessment of the need for high-voltage adjustable AC electric drives] [Text] // News of TulGU. Technical science. – Issue 3. – Part 1. – 73–81 p.

11 **Chnybayeva, D. M., Tsyba, Yu. A. Kuzmin, Yu. V., Shynybay, Zh. S., Almuratova, N. K.** Sposob i sistema monitoringa tekhnologicheskikh parametrov magistralnykh truboprovodov [Method and system for monitoring the technological parameters of main pipelines] [Text] Utility model patent RK No. 6773. A full description of the utility model for the patent is available on the official website www.kazpatent.kz in the section «State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan» dated 12/24/21.

12 **Terekhin, V. B.** Modelirovaniye sistem elektroprivoda v Simulink (Matlab 7.0.1) [Modeling of electric drive systems in Simulink (Matlab 7.0.1) : textbook] [Text]. – Tomsk : Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008. – 320 p.

13 **Kudinov, Yu. I.** Teoriya avtomaticheskogo upravleniya (s ispolzovaniyem MATLAB – SIMULINK) [Theory of automatic control (using MATLAB – SIMULINK): textbook] [Text]. – St Petersburg, 2016. – 256 p.

14 **Chnybayeva, D. M., Tsyba, Yu. A., Shadkhin, Yu. I.** Issledovaniye ustoychivosti asinkhronnoy chastotno-tokovoy sistemy privoda v srede Matlab. [Stability study of an asynchronous frequency – current drive system in the Matlab environment] [Text] Toraighyrov University Vestnik. – 2021. – № 2. – 198–208 p.

15 **Vasenin, A. B., Kryukov, O. V., Stepanov, S. E.** Rezultaty kompyuternogo modelirovaniya sinkhronnykh mashin pri rabote na ventilyatornuyu nagruzku. [Results of computer simulation of synchronous machines when operating on a fan load] [Text] // Proceedings of the XV ISTC «Alternating current electric drives». – Yekaterinburg, March 12–16, 2012. –139–142 p.

16 **Puzhailo, A. F., Savchenkov, S. V., Kryukov, O. V. et al.** Elektroprivody obyektov gazotransportnykh sistem : Monografiya serii «Nauchnyye trudy k 45-letiyu OAO «Giprogaztsentr» [Electric drives of objects of gas transmission systems : Monograph of the series «Scientific works for the 45th anniversary of JSC Giprogaztsentr»] [Text]. – Nizhny Novgorod, 2013. – 300 p.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

**Д. М. Чныбаева[1], Ю. А. Цыба[2]*
[1,2]Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,
Республика Казахстан. г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 20.06.23.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА СРЕДСТВАМИ БЕСПРОВОДНОЙ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

На основании литературно патентных исследований предложена система с оптимальной конфигурацией элементов технологического и технического мониторинга магистрального трубопровода (МТ) независимо от вида перекачиваемой среды (нефти или газа) на базе интеллектуальных беспроводных датчиков, с передачей измеренных данных по радиорелейной линии связи в режиме реального времени с локализацией аномальных возмущающих воздействий цифровым инвариантным частотно-регулируемым электроприводом компрессорных или насосных станций.

Интеграция беспроводной сенсорной технологии в цифровой высоковольтный частотно-регулируемый электропривод (ЧРП) позволяет автоматически контролировать и оптимизировать величины давления и температуры перекачивающей среды по всей длине МТ, а также осуществлять контроль его целостности и своевременно обнаруживать утечки транспортируемого газа или нефти в зависимости от сравнения заданных и текущих значений данных параметров, измеряемых интеллектуальными беспроводными датчиками, а также параметров возмущающих воздействий стохастического характера. Поэтому система снабжена беспроводными вибрационными датчиками, которые предназначены для подачи сигналов тревоги операторам - только при обнаружении реальной и конкретной угрозы. Получая сигнал тревоги команда вмешательства (расположенная вдоль линии) и охранники в патрульных транспортных средствах приступают к немедленной ликвидации аварии.

Разработана компьютерная модель для расчёта необходимой скорости вращения электродвигателя компрессора и получения требуемого давления природного газа в МТ. Исследования, статических и динамических режимов проведенные на компьютерной модели в среде программируемого комплекса MATLAB Simulink дали возможность определить необходимые значения корректирующего сигнала системы мониторинга МГ и коэффициента усиления обратной связи по скорости электропривода ЭГПА, при которых обеспечивается максимальная чувствительность к аномальным изменениям технологических параметров давления и температуры газа в МГ с целью их оптимизации.

Ключевые слова: магистральный газопровод, компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, электропривод, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, технологический мониторинг.

**D. M. Chnybayeva[1], Yu. A. Tsyba[2]*
[1,2]Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeyev, Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 20.06.23.

TECHNOLOGICAL AND TECHNICAL MONITORING OF THE MAIN PIPELINE BY MEANS OF WIRELESS DIGITAL TECHNOLOGY

On the basis of literary patent research, a system with an optimal configuration of the elements of technological and technical monitoring of the main pipeline (MT), regardless of the type of medium being pumped (oil or gas), based on intelligent wireless sensors, with the transmission of measured data via a radio relay communication line in real time with the localization of abnormal disturbing effects by a digital invariant frequency-controlled electric drive of compressor or pumping stations.

The integration of wireless sensor technology into a digital high-voltage frequency-controlled electric drive (FCED) allows you to automatically monitor and optimize the pressure and temperature values of the pumping medium along the entire length of the MP, as well as monitor its integrity and detect leaks of transported gas or oil in a timely manner, depending on the comparison of the set and current values of these parameters measured by intelligent wireless sensors, as well as parameters of disturbing effects of a stochastic nature. Therefore, the system is equipped with wireless vibration sensors, which are designed to give alarm signals to operators – only when a real and specific threat is detected. Upon receiving an alarm, the intervention team (located along the line) and the guards in patrol vehicles proceed to immediately eliminate the accident.

A computer model has been developed to calculate the required rotation speed of the compressor motor and obtain the required natural gas pressure in MP. Studies of static and dynamic modes carried out on a computer model in the environment of the MATLAB Simulink programmable complex made it possible to determine the necessary values of the correction signal of the MG monitoring system and the feedback gain on the speed of the EDGPU electric drive, which ensures maximum sensitivity to abnormal

changes in the technological parameters of gas pressure and temperature in MG in order to optimize them.

Keywords: main gas pipeline, compressor station, gas pumping unit, electric drive, frequency converter, asynchronous motor, technological monitoring.

МРНТИ 50.47.31

https://doi.org/10.48081/QFSQ2222

М. В. Ярославцев[1], О. М. Талипов[1], Ж. Б. Исабеков[1], А. Г. Калтаев[4], А. Е. Анарбаев[5]

[1,2,3,4,5]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: myaroslav54@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПАЛЛЕТИЗАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО РЕДАКТОРА СХЕМ УКЛАДКИ

Повышение экономической эффективности применения промышленных роботов требует концентрации максимального объема работы на каждой роботизированной ячейке. Одной из типичных задач, эффективно решаемых в настоящее время при помощи промышленных роботов, является укладка на паллеты (паллетизация) упакованных товаров, поступающих по конвейерной линии. Преимуществами промышленных роботов являются высокое быстродействие, надежность, гибкость переналадки, возможность одновременной работы с разными по массе и габаритам товарами.

Выполнено технико-экономическое сравнение, подтверждающее целесообразность приобретения одного робота-паллетайзера большего типоразмера по сравнению с несколькими, обладающими меньшей грузоподъемностью и радиусом действия. Это может потребовать концентрации на входе в ячейку робота нескольких конвейерных линий. Для обеспечения производительности комплекса необходима предварительная группировка товара, формирование рядов либо слоев.

В таких условиях возникает необходимость быстрой смены схем укладки товаров на паллеты, что сложно реализовать в случае применения жестких программ. Предложено создать графический редактор схем укладки и реализовать программу для робота-манипулятора, выполняющую укладку деталей на паллеты по заданной схеме. Разработана программа – редактор схем укладки, и реализована модель комплекса по паллетизации в среде Fanuc Roboguide.

Ключевые слова: автоматизированное производство, промышленный робот, паллетизация, производительность, графический редактор.

Введение

Увеличение производительности предприятий, рост стоимости труда, повышение требований к качеству выпускаемой продукции и её упаковки, глобализация экономики и широкое внедрение информационных технологий, а также повышение доступности грузового транспорта создают предпосылки для повышения уровня автоматизации производств и перехода к «промышленности 4.0». Повышение производительности транспорта и складов требует объединения грузов, что достигается сегодня укладкой на паллеты. В странах СНГ нашли широкое применение стандартные паллеты по ГОСТ 33757-2016 [1].

Укладка товаров на паллеты при высокой производительности линии является сложной задачей, поскольку требует перемещения груза с 4 степенями свободы, включая поворот вокруг горизонтальной оси. Схемы укладки зависят от геометрических размеров и массы товара, обеспечения читаемости этикетки, возможности и необходимости в одновременной укладке нескольких упаковок.

Существует большое количество технических решений, применяемых для автоматизации укладки товара на паллеты [2–4]. Для решения этой задачи могут применяться как портальные и консольные укладчики, так и специализированные промышленные роботы. Кроме того, в ряде случаев повышение производительности комплекса по паллетизации требует предварительного подбора упаковок в ряд или даже формирование слоя целиком.

Наиболее сложной и не нашедшей до настоящего времени единственного решения проблемой является построение гибкой линии, способной обеспечивать укладку упаковок различного размера с минимальными затратами времени на переналадку.

Материалы и методы

Наибольшую гибкость при реализации различных схем можно получить в случае применения промышленных роботов, что позволяет получить свободу в выборе траектории перемещения груза. Обеспечение возможности простой смены схем укладки требует отказа от жесткого программирования траекторий. Для этого требуется выделить редактирование схем укладки в специализированное приложение, а также реализовать автоматический расчет промежуточных координат траекторий при укладке предметов. Рядом производителей роботов предложены собственные решения по

редактированию схем укладки [5], однако они не учитывают возможность изменения схемы размещения груза на захвате робота.

Эффективным способом повышения производительности робототехнических комплексов по паллетизации товаров является предварительная группировка упаковок либо формирование слоя, что позволяет сократить количество циклов перемещения предметов. Поскольку стоимость робота в 3–5 раз превосходит стоимость формирователей слоя, а стоимость роботов-паллетайзеров различной грузоподъемности в пределах общего модельного ряда отличается, как правило, не более чем в 1,5 раза, в ряде случаев оказывается оправданным создание единичных комплексов паллетизации большой сложности. В таких комплексах робот, обладающий высокой грузоподъемностью и большим радиусом досягаемости, обслуживает одновременно несколько линий по производству товара и ведет одновременную укладку груза на несколько паллет.

По мере усложнения роботизированных систем возрастает важность проблемы оптимизации траекторий перемещения грузов при укладке для сокращения времени рабочего цикла робота и повышения общей производительности комплекса по паллетизации, либо оптимизации траекторий по критерию минимума затрат энергии на перемещение. При переносе деталей на паллет невозможно использовать одну оптимальную траекторию, поскольку каждая упаковка укладывается в различные точки пространства. Кроме того, траектория должна учитывать изменение свободного пространства для перемещения захвата робота по мере увеличения высоты уложенного на паллете груза. Простейшим подходом является изменение промежуточной точки траектории, расположенной над центром паллеты, однако в ряде работ предложены более сложные, но и более эффективные подходы по оптимизации траекторий.

В [6–10] обсуждаются проблемы поиска оптимальных схем укладки, а также оптимизации траекторий движения робота по критериям минимизации времени и затрат энергии на перемещение. Обе задачи требуют решения проблемы поиска кратчайшего пути с учетом текущей конфигурации препятствий.

Результаты и обсуждение

В качестве решения авторами разработана программа – редактор схем укладки грузов на паллет. Программа предполагает применение на роботе многосекционного пневматического захвата с независимо управляемыми присосами. Предложенное решение отличается возможностью реализовать одновременное взятие партии грузов и укладку их на паллет несколькими частями, отключая часть присосов на захвате. Это решение повышает

гибкость системы и позволяет выполнять укладку грузов большим количеством различных схем.

Редактор предлагает пользователю последовательно задать:

- схему расположения присосов на захвате;
- массовые и габаритные характеристики грузов;
- схемы размещения грузов на захвате;
- схемы укладки паллет (рисунок 1);
- расположение точек подачи грузов и паллет для их укладки относительно робота (рисунок 2).

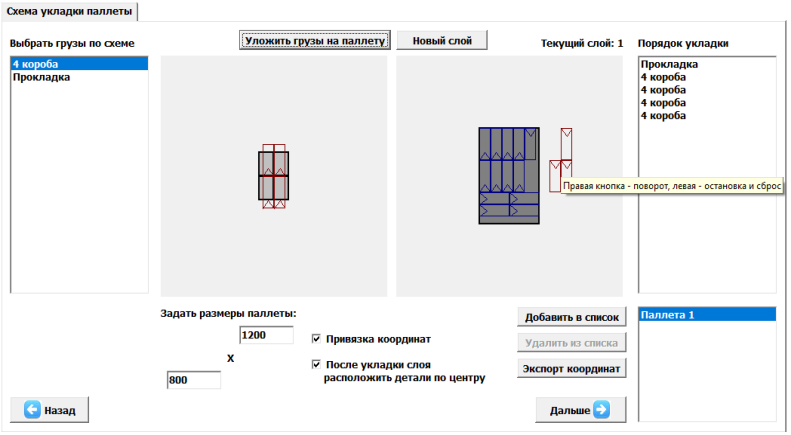


Рисунок 1 – Редактирование схемы укладки грузов на паллету

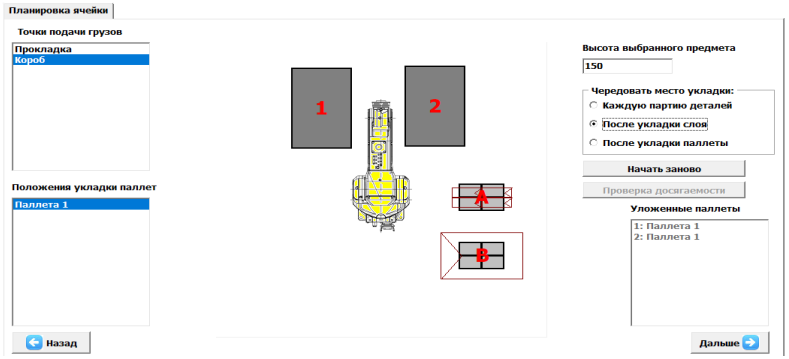


Рисунок 2 – Редактирование плана роботизированной ячейки

При укладке грузов предусмотрена возможность выбора режима укладки. При возможности взятия разных грузов робот может завершить укладку текущего паллета целиком, укладку очередного слоя либо производить переход к укладке груза на следующий паллет после каждого цикла перемещения предметов.

Разработанные программы укладки сохраняются в файлы данных предложенного формата, описывающего последовательность действий робота. Для роботов Fanuc реализована программа на языке Karel, выполняющая чтение данных из файла и поочередно выдающая координаты точек взятия и укладки предметов в основную программу движения.

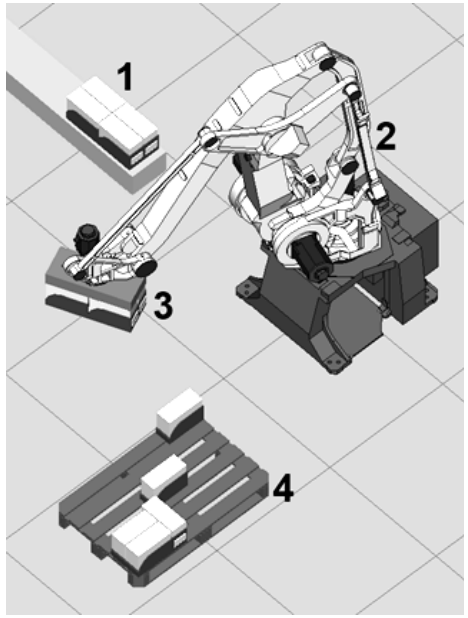


Рисунок 3 – симуляция процесса укладки паллет средствами САПР Fanuc Roboguide: 1 – формирователь рядов коробов, 2 – промышленный робот, 3 – пневматический захват с рядом коробов, 4 – паллета в процессе укладки коробов

Проверка результатов выполнена симуляция процесса укладки паллет в САПР Fanuc Roboguide (Рисунок 3). Подтверждена возможность реализации гибкой системы управления роботизированным комплексом по паллетизации, обеспечивающей возможность смены схем укладки в течение 30 минут для грузов различных массы и габаритов. В то же время, не нашли

окончательного решения проблемы оптимизации траекторий робота по времени на передвижение и затратам энергии, что представляет предмет дальнейших исследований.

Выводы

На основании выполненного обзора показано, что задача укладки роботизированной грузов на паллету представляет сложность в отношении быстрого изменения алгоритма действий робота, а также оптимизации траекторий по критериям минимума времени на перемещение и минимума затрат энергии.

Предложено создать графический редактор схем укладки и реализовать программу для робота-манипулятора, выполняющую укладку деталей на паллеты по заданной схеме. Разработана программа – редактор схем укладки, и реализована модель комплекса по паллетизации в среде Fanuc Roboguide.

Разработанная авторами система обладает повышенной гибкостью за счет обеспечения возможности переноса нескольких деталей и поочередной их укладки в различных положениях захвата. В то же время, предложенное решение является зависимым от человека, не обеспечивая проверки траекторий переноса деталей на оптимальность по критериям быстродействия и затрат энергии на перемещение. Дальнейшей задачей работы является разработка методики оценки затрат энергии на перенос деталей.

Список использованных источников

1 ГОСТ 33757-2016 Поддоны плоские деревянные : технические условия // М. : Стандартинформ, 2019. – 22 с.

2 **Dan, Luo.** Design and Implementation of Control System of Three Axis Palletizing Machine Based on PLC // Academic Journal of Science and Technology. – 2022. – Vol. 3. – P. 188–190. – https://doi.org/10.54097/ ajst.v3i2.2170.

3 **Yuan, Yang, Lei, Zhang, Ligang, Qiang, Jinbing, Wang, Yong, Zhang, Xudong, Yang.** Research on Palletizing Robot System of Multi - axis Synchronous Control Technology // MATEC Web of Conferences. – 2022. – Article ID: 363(2):01006. – https://doi.org/10.1051/matecconf/ 202236301006.

4 Виды паллетайзеров [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tmipal.com/ru/palletizery-dlya-meshkov-kratkoe-rukovodstvo (Дата обращения: 14.04.2023).

5 Perfect your palletizing with PalletPRO [Электронный ресурс]. – URL: https://motioncontrolsrobotics.com/perfect-palletizing-palletpro/ (Дата обращения: 14.04.2023).

6 **Chen, Xiaokang, Zhou, Yin, Yang, Bin, Miao, Xinghua, Li, Yanlin, Zhang, Miaorong.** Designing Control System of Palletizing Robot Based on

RobotStudio // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2402. – Article ID 012039. – https://doi.org/10.1088/1742-6596/2402/1/012039.

7 **Rui Gao, Wei Zhang, Guofu Wang, Xiaohuan Wang.** Experimental Research on Motion Analysis Model and Trajectory Planning of GLT Palletizing Robot // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – P. 966. – https://doi.org/10.3390/buildings13040966.

8 **Ke, Liu, Xue-Feng, Lv.** Research on Palletizing and Packing Based on Heuristic Algorithm // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – P. 2449. – https://doi.org/012040. 10.1088/1742-6596/2449/1/012040.

9 **Peeva, I.,Kostadinov, C.** Study of the performance of palletizing equipment // Proc. of University of Ruse, Bulharia. – 2021. – Vol. 60.

10 **Jianqiang, Wang, Yanmin, Zhang, Xintong, Liu.** Control system of 4-DOF palletizing robot based on improved R control multi-objective trajectory planning // Advances in Mechanical Engineering. – 2021. – Vol. 13. – Artilce ID 168781402110027. – https://doi.org/10.1177/16878140211002705.

References

1 GOST 33757-2016 Poddony` ploskie derevyanny`e : texnicheskie usloviya [Flat wooden pallets : technical requirements] [Text]. – Moscow: Standartinform, 2019. – 22 p.

2 **Dan, Luo.** Design and Implementation of Control System of Three Axis Palletizing Machine Based on PLC // Academic Journal of Science and Technology. – 2022. – Vol. 3. – P. 188–190. – https://doi.org/10.54097/ ajst.v3i2.2170.

3 **Yuan, Yang, Lei, Zhang, Ligang, Qiang, Jinbing, Wang, Yong, Zhang, Xudong, Yang.** Research on Palletizing Robot System of Multi-axis Synchronous Control Technology // MATEC Web of Conferences. – 2022. – Article ID: 363(2):01006. – https://doi.org/10.1051/matecconf/ 202236301006.

4 Vidy` palletajzerov [Palletizer types] [Electronic resource]. – URL: https://www.tmipal.com/ru/palletizery-dlya-meshkov-kratkoe-rukovodstvo (Access date 14.04.2023).

5 Perfect your palletizing with PalletPRO [Electronic resource]. – URL: https://motioncontrolsrobotics.com/perfect-palletizing-palletpro/ (Access date 14.04.2023).

6 **Chen, Xiaokang, Zhou, Yin, Yang, Bin, Miao, Xinghua, Li, Yanlin, Zhang, Miaorong.** Designing Control System of Palletizing Robot Based on RobotStudio // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2402. – Article ID 012039. – https://doi.org/10.1088/1742-6596/2402/1/012039.

7 **Rui Gao, Wei Zhang, Guofu Wang, Xiaohuan Wang.** Experimental Research on Motion Analysis Model and Trajectory Planning of GLT Palletizing Robot // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – P. 966. – https://doi.org/10.3390/buildings13040966.

8 **Ke, Liu, Xue-Feng, Lv.** Research on Palletizing and Packing Based on Heuristic Algorithm // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – P. 2449. – https://doi.org/012040. 10.1088/1742-6596/2449/1/012040.

9 **Peeva, I.,Kostadinov, C.** Study of the performance of palletizing equipment // Proc. of University of Ruse, Bulharia. – 2021. – Vol. 60.

10 **Jianqiang, Wang, Yanmin, Zhang, Xintong, Liu.** Control system of 4-DOF palletizing robot based on improved R control multi-objective trajectory planning // Advances in Mechanical Engineering. – 2021. – Vol. 13. – Artilce ID 168781402110027. – https://doi.org/10.1177/16878140211002705.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

М. В. Ярославцев[1], О. М. Талипов[2], Ж. Б. Исабеков[3], А. Г. Калтаев[4], А. Е. Анарбаев[5]
[1,2,3,4,5]Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 20.06.23 баспаға түсті.

АРНАЛАНДЫРЫЛҒАН СТЕКТЕРДІҢ РЕДАКТОРЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН ПАЛЛЕТТЕУ ТАПСЫРМАЛАРЫНА РОБОТ-МАНИПУЛЯТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Өнеркәсіптік роботтарды пайдаланудың экономикалық тиімділігін арттыру әрбір роботты ұяшыққа максималды жұмыс көлемін шоғырландыруды талап етеді. Қазіргі уақытта өнеркәсіптік роботтардың көмегімен тиімді шешілетін типтік міндеттердің бірі конвейер желісі бойынша келетін оралған тауарларды паллеттеу болып табылады. Өнеркәсіптік роботтардың артықшылығы – жоғары жылдамдық, сенімділік, қайта реттеу икемділігі, әртүрлі салмақ пен өлшемдегі тауарлармен бір уақытта жұмыс істеу мүмкіндігі.

Жүк сыйымдылығы мен әрекет ету радиусы төмен бірнеше роботтармен салыстырғанда үлкенірек стандартты өлшемдегі бір робот паллетизаторды сатып алудың орындылығын растайтын техникалық-экономикалық негіздеме жүргізілді. Бұл робот ұяшығына кіре берісте бірнеше конвейер желілерінің шоғырлануын талап етуі мүмкін. Кешеннің өнімділігін қамтамасыз ету үшін тауарларды алдын ала топтастыру, қатарларды немесе қабаттарды қалыптастыру қажет.

Мұндай жағдайларда тауарларды паллеттерге қою схемаларын жылдам өзгерту қажет болады, бұл қатаң бағдарламалар жағдайында жүзеге асыру қиын. Схемаларды жинақтау үшін графикалық редакторды құру және берілген схема бойынша бөлшектерді паллеттерге жинақтайтын роботтық қолдың бағдарламасын жүзеге асыру ұсынылады. Бағдарлама әзірленді – схемаларды жинақтау үшін редактор және Fanuc Roboguide ортасында паллеттеу кешенінің үлгісі жүзеге асырылды.

Кілтті сөздер: автоматтандырылған өндіріс, өнеркәсіптік робот, паллетизация, өнімділік, графикалық редактор

M. V. Yaroslavtsev[1], O. M. Talipov[2], Z. B. Isabekov[3], A. G. Kaltayev[4], A. E. Anarbayev[5]
[1,2,3,4,5]Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 20.06.23.

INCREASING THE EFICIENCY OF PALLETIZING ROBOTS WITH SPETIALIZED LAYING SCHEMES EDITOR

Increasing the efficiency of industrial robot application requires to concentrate maximum available amount of work at each robot workcell. One of the typical tasks effectively solved today by industrial robots is palletizing different packed goods supplied by conveyors. Application of robots for that task provides such benefits as high performance, reliability, changeover flexibility and ability to lay simultaneously packages of different size and weight.

In the article the expediency of application one large robot compared with two ones having less dimensions is shown. It requires one robot to serve two or more supplying lines at the same time. To ensure the required performance a preliminary grouping of packages or forming the pallet layers may be needed.

In this conditions fast changing the package laying schemes may become difficult if fixed programs are being used. A special graphic editor of laying schemes enable to save laying schemes to files is proposed in the article. The editor is implemented with a reader program for robot. The proposed solution is tested using a simulation model in Fanuc Roboguide CAD system.

Keywords: automated manufacturing, industrial robot, palletizing, performance, graphic editor.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Абдлахатова Назым Шохадляқызы, докторант, «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету» білім беру бағдарламасы, Инженерлік техникалық факультеті, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., 050000 Қазақстан Республикасы, e-mail: abdlakhatova@list.ru

Абдуллина Гульнара Госмановна, химия ғылымдарың кандидаты, қауымд. профессор (доцент), Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulnara_1277@mail.ru

Абдыгаликова Гульнар Ахмадиевна, педагогика ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g.abdygalikova@kazatu.kz

Азаматов Мұрат Тоқтарбекұлы аға оқытушы, магистр, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

Айгожина Динара Габдулгазисовна, техника ғылымдарының магистрі, оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dina7041976@mail.ru

Ақаев Айбек Мұратбекұлы, PhD, Атомдық және дәстүрлі энергетикалық технологиялар мектебі деканы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Аканова Ақерке Сапаровна, PhD, аға оқытушы, Компьютерлік жүйелер және кәсіптік білім беру факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Ақишев Қаршыға Мақсұтович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akmail04cx@mail.ru

Алпысова Гульнур Кенжебековна, PhD, қауымд. профессор, Физика-техникалық факультеті, Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ.,100026, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulnur-0909@mail.ru

Аманкул Талгат, магистр, аға оқытушы, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Amankul.T@mail.ru

Анарбаев Алибек Ерсаинович, аға оқытушы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Республика Қазақстан, e-mail: alibek_anarbaev@mail.ru

Андреева Оксана Александровна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессоры, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: andreyeva.oa @mail.ru

Асаинов Гибрат Жоламанұлы, PhD, аға оқытушы, «Электрмен жабдықтау» кафедрасы, С. Сейфуллин Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 007giba@mail.ru

Ахмедьянова Галия Казбековна, химия магистрі, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: galiya_erlan@mail.ru

Ахметбаев Дәурен Садықұлы, техника ғылымдарының докторы, профессорының м.а., «Электрмен жабдықтау» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: d.akhmetbayev@kazatu.edu.kz

Әмірхан Мейіржан Нұрбекұлы, магистрант, Ғ. Дәукеев атындағы Энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050062, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.amirkhan@aues.kz

Байжарикова Марина, техника ғылымдарының кандидаты, м.а. қауымд. профессор, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: marina.2288 @mail.ru

Балтин Алишер Талғатұлы, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ. 010000, Қазақстан Республикасы e-mail: baltin2016@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, қауымд. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Баубек Аскар Апошұлы, технка ғылымдарының кандидаты, доцент, Көлік энергетика факультеті, Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: baubek.as@mail.ru

Бедыч Татьяна Витальевна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Энергетика және машина жасау» кафедрасы меңгерушісі, М. Дулатов Қостанай атындағы инженерлік-экономикалық университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: t.bedych@kineu.kz

Бижанов Нұрлан Уәлиханұлы, магистр, докторант, «Электроэнергетика» мамандығы, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай аймақтық университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurlanbizhanov105@gmail.com

Бобров Владимир Яковлевич, бас директоры, «Қазэнергокабель» АҚ, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 953557@mail.u

Болатбеков Асхат, магистрант, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gsspkazakhstan@gmail.com

Бондарцев Давид Юрьевич, PhD, доцент АЭжБУ, Жылу энергетикасы және басқару жүйелері институты, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: d.bondartsev@aues.kz

Волгин Михаил Евграфович, «Электроэнергетика» кафедрасы, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: volgin_m@mail.ru

Волгина Екатерина Михайловна, «Электроэнергетика» кафедрасы, қауымд. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: volgina.em@mail.ru

Генбач Александр Алексеевич, техникалық ғылым докторы, профессор ВАК, Жылу энергетикасы және басқару жүйелері институты, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.genbach@aues.kz

Генбач Наталья Алексеевна, доцент АЭжБУ, Электр тізбектері және электр энергетикалық жүйелер институты, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.genbach@aues.kz

Глазырин Сергей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Еуразия ұлттық университеті көлік-энергетика факультеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Глущенко Татьяна Ивановна, экономика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор (доцент), «Электр энергетикасы» кафедрасы, Инженерлік-техникалық институты, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tatyana194@inbox.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

Грибков Александр Михайлович, технка ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазан мемлекеттік энергетикалық университеті, Казань қ., 420000, Ресей Федерациясы, e-mail: gribkovalmi@mail.ru

Даутбеков Мерхат Курметович, докторант, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: merkhatd@gmail.com

Джусупова Эльмира Маратовна, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: mika_28@mail.ru

Долгов Максим Викторович, докторант, «Жылу энергетикасы» мамандығы, Көлік-энергетика факультеті, Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Дүйсенғазина Назым Нығметоллақызы, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asbizh@mail.ru

Дюсова Ризагуль Муслимовна, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: riza92@bk.ru

Ергеш Манас, магистр, аға оқытушы, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Shymkent90@mail.ru

Жалмағамбетова Ұлтуар Қайырболатқызы, қауымд. профессор, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ultuara@mail.ru

Жүрерова Лайла Ғылыммедденовна, PhD, аға ғылыми қызметкер, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: leila_uka@mail.ru

Жүсіп Талғат Сембекұлы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Механика және машина жасау» кафедрасы, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ.,080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhusip@mail.ru

Жұмағұлов Михаил Григорьевич, техника ғылымдарының кандидаты, профессор м.а., PhD, доцент, Көлік-энергетика факультеті, Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

Жұматаев Нұрлыбек Шақайұлы, докторант, «Электр энергетикасы» кафедрасы, Торайғыров университеті, «ANSA Silicon» ЖШС техникалық кремний өндіру зауытының бас энергетигі, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhumataev_04@mail.ru

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Исабеков Жанат Бейсембайұлы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asbizh@mail.ru

Исабекова Бибігүл Бейсембайқызы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Computer science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asbizh@mail.ru

Исакова Гүлнұр Оралбаевна, педагогика ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: is_gul_oral@mail.ru

Исенов Сұлтанбек Сансызбайұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, декан, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Искакова Кульпаш Аманқызы, доцент, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.iskakova@aues.kz

Испулов Нурлыбек Айдаргалиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurlybek_79@mail.ru

Калтаев Абдулла Габдылманапулы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: abdulla911@mail.ru

Касымова Акмарал Хамзиевна, педагогика ғылымдарынын кандидаты, профессор м.а., Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал қ., 090009, Қазақстан Республикасы, e-mail: kasimova_ah@mail.ru

Кисабекова Асемгуль Агибаевна, PhD, қауымд. профессор, Жаратылыстану жоғары мектебі, Ә. Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ.,140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: akisabekova@mail.ru

Кислов Александр Петрович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Энергетика факультетінің деканы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: kislovpsu@mail.ru

Клецель Марк Яковлевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы

Колесников Евгений Николаевич, PhD, постдокторант, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров

университеті, Павлодар қ., 140008. Қазақстан Республикасы, e-mail: jeka89_pvl@mail.ru

Красников Алексей Сергеевич, PhD, ғылыми қызметкер, Физика институты, Тарту университеті, Тарту қ., 50090, Эстония, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee

Кучербаев Мурат Сарсембаевич, докторант, «Жылу энергетикасы» мамандығы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.kucherbayev@yandex.kz

Қасым Руслан Тоқтасынұлы, магистр, сениор-лектор, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

Любецкая Марина Александровна, магистрант, аға оқытушы, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті. Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы

Марковский Вадим Павлович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессоры (доцент), кафедраның меңгерушісі, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: wadim54@mail.ru

Машрапов Бауыржан Ерболович, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Мехтиев Али Джаванширович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессоры, «Электр жабдықтарын пайдалану» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: barton.kz@mail.ru

Митрофанов Андрей Васильевич, техника ғылымдарының докторы, доцент, Инженерлік факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: and2mit@mail.ru

Мукушев Мейр Абзалович, магистрант, «Акпараттық жүйелер» мамандығы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: potatothekartoshka@gmail.com

Мусагажинов Мадияр Жалелович, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: musagazhinov@bk.ru

Мусекенова Гаухар Отегеновна, магистр, аға оқытушы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: orazova.g@teachers.tou.edu.kz

Мустафина Раиса Мухаметжаровна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров

университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы; e-mail: mustafina.r@teachers.tou.edu.kz

Муталова Жазира Саткановна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал қ., 090009, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhazira77@mail.ru

Никифоров Александр Степанович, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Жылу энергетика» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aleke4599@mail.ru

Новожилов Александр Николаевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Электр энергетикасы» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Новожилов Тимофей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау» кафедрасы, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644000, Ресей Федерациясы, e-mail: timokvey@mail.ru

Ноғай Адольф Сергеевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 000011, Қазақстан Республикасы, e-mail: nogay06@mail.ru

Ноғай Артур Адольфович, PhD, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 000011, Қазақстан Республикасы, e-mail: artur.n00@mail.ru

Ноғай Элеонора Адольфовна, кіші ғылыми қызметкері, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 000011, Қазақстан Республикасы, e-mail: linora90-00@mail.ru

Нурмадиева Эльмира Амиржановна, аға оқытушы, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: e.nurmadieva@aues.kz

Онгар Булбул, PhD, қауымд. профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: b.ongar@satbayev.university

Орынбаев Сейтжан Ауесжанұлы, PhD, қауымд. профессор, Ғылым және коммерцияландыру департаментінің директоры, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: seitzhan_74@mail.ru

Оспанова Жұлдыз Джұмағалиевна, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhulduz-ospan@mail.ru

Оспанова Назира Нұрғазиевна, педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nazira_n@mail.ru

Өскенбаев Данияр Есенқұлұлы, PhD, доцент, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 000011, Қазақстан Республикасы, e-mail: usdan@mail.ru

Рахадилов Бауыржан Корабаевич, PhD, қауымд. профессор, «Plasmascience» ЖШС директоры, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: rakhadilovb@gmail.com

Рахимбердинова Дилара Муратовна, PhD, постдокторант, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ.,140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Di_lara83@mail.ru

Рибейро Луис Фролён, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Механикалық технологиялар» кафедрасы, Браганса Политехникалық институты, Браганса қ., 5300, Португалия Республикасы, e-mail: frolen@ipb.pt

Сарсенбаев Ерлан Алиаскарович, PhD, қауымд. профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: y.sarsenbayev@satbayev.university

Сеитбек Ерлан Ержанұлы, магистрант, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: e.seyitbek@alt.edu.kz

Сериков Тансауле Габдыманапович, PhD, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Смагулова Гулдана Кашкинбаевна, аға оқытушы, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: gu.smagulova@aues.kz

Соболева Людмила Андреевна, аға оқытушы, магистр, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mluda777@mail.ru

Степанова Ольга Александровна, «техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының меңгеруші, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 071412, Қазақстан Республикасы, e-mail: noreply@semgu.kz

Султанова Марал Жанатовна, техника ғылымдарының магистрі, оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: s.m.zh@mail.ru

Сүлейменова Рая Зиннадиновна, аға оқытушы, техника ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы, 010000, e-mail: Suleimenova_raya@mail.ru

Сыдыкова Гүлнар Құдайбергенова, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Инженерлі-технологиялық институты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sydykova77@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

Талипов Сергей Николаевич, аға оқытушы, Computer Sciences факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: talipovsn@gmail.com

Таткеева Галина Галимзяновна, техника ғылымдарының кандидаты, «Электрмен жабдықтау» кафедрасы меңгерушісі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g.tatkeyeva@kazatu.edu.kz

Токмолдаев Аманжол Бектұрсынұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессоры, «Энергия үнемдеу және автоматика» кафедрасы, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, қ. Алматы, 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tokmoldaev_a@mail..ru

Толегенова Арай Сарсенгалиевна, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: balgynbek.2018@gmail.com

Тулегулов Амандос, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Tud62@yandex.ru

Турсын Махмуд Мадиулы, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Makhmudd99@gmail.com

Уразалимова Дария Сансызбаевна, магистр, аға оқытушы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы; e-mail: urazalimova.d@teachers.tou.edu.kz

Федорова Марина Леонидовна, магистр, аға оқытушысы, Тілдерді оқыту орталығы, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: andreyfed31@mail.ru

Хамитов Мирас Сержанұлы, магистрант, Өнеркәсіптік жылу энергетикасы мамандығы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: chamitov@inbox.kz

Цыба Юрий Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, ЭМЭЖ кафедрасы, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Казахстан Республикасы, e-mail: tsyba.46@mail.ru

Чныбаева Данна Максутковна, аға оқытушы, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Казахстан Республикасы; e-mail: danna_shyn@mail.ru; d.chnybaeva@aues.kz

Шерязов Сәкен Қойшыбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті, Челябинск қ., 454000, Ресей Федерациясы, e-mail : sakenu@yandex.ru

Ярославцев Михаил Викторович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ. 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: myaroslav54@gmail.com

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдлахатова Назым Шохадляевна, докторант, ОП «Энергообеспечение сельского хозяйства», Инженерно технический факультет, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: abdlakhatova@list.ru

Абдуллина Гульнара Госмановна, кандидат химических наук, ассоц. профессор (доцент), Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: gulnara_1277@mail.ru

Абдыгаликова Гульнар Ахмадиевна, кандидат педагогических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан

Азаматов Мурат Токтарбекович, магистр, ст. преподаватель, кафедра «Электротехника и автоматизация», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

Айгожина Динара Габдулгазисовна, магистр технических наук, преподаватель, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dina7041976@mail.ru

Акаев Айбек Муратбекович, PhD, декан Школы технологий атомной и традиционной энергетики, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, ст. преподаватель, Факультет компьютерных систем и профессионального обучения, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Акишев Каршыга Максутович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru

Алпысова Гульнур Кенжебековна, PhD, ассоц, профессор, Физико-технический факультет, Карагандинский университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 100026, Республика Казахстан, e-mail: gulnur-0909@mail.ru

Аманкул Талгат, магистр, ст. преподаватель, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Amankul. T@mail.ru

Амирхан Мейиржан Нурбекулы магистрант, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050062, Республика Казахстан, e-mail: m.amirkhan@aues.kz

Анарбаев Алибек Ерсаинович, ст. преподаватель, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: alibek_anarbaev@mail.ru

Андреева Оксана Александровна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Электротехника и автоматизация», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: andreyeva.oa @mail.ru

Асаинов Гибрат Жоламанович, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Электроснабжение», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: 007giba@mail.ru

Ахмедьянова Галия Казбековна, магистр химии, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: galiya_erlan@mail.ru

Ахметбаев Даурен Садыкович, доктор технических наук, и.о. профессора, кафедра «Электроснабжение», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: d.akhmetbayev@kazatu.edu.kz

Байжарикова Марина, техника ғылымдарының кандидаты, и.о. ассоц. профессор, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: marina.2288 @mail.ru

Балтин Алишер Талғатұлы, докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: baltin2016@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Баубек Аскар Апошевич, кандидат технических наук, доцент, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: baubek.as@mail.ru

Бедыч Татьяна Витальевна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, зав. кафедрой «Энергетики и машиностроения», Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: t.bedych@kineu.kz

Бижанов Нурлан Уалиханович, магистр, докторант по специальности «Электроэнергетика», Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: nurlanbizhanov105@gmail.com

Бобров Владимир Яковлевич, генеральный директор АО «Казэнергокабель», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: 953557@mail.ru

Болатбеков Асхат, магистрант, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: gsspkazakhstan@gmail.com

Бондарцев Давид Юрьевич, PhD, доцент АУЭС, Институт теплоэнергетики и систем управления, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: d.bondartsev@aues.kz

Волгин Михаил Евграфович, профессор, кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: volgin_m@mail.ru

Волгина Екатерина Михайловна, ассоц. профессор, кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: volgina.em@mail.ru

Генбач Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор ВАК, Институт теплоэнергетики и систем управления, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.genbach@aues.kz

Генбач Наталья Алексеевна, доцент АУЭС, Институт электрических станций и электроэнергетических систем, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: n.genbach@aues.kz

Глазырин Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Глущенко Татьяна Ивановна, кандидат экономических наук, ассоц. профессор (доцент), кафедра «Электроэнергетика», Инженерно-технический институт, Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: tatyana194@inbox.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

Грибков Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный энергетический университет, Казань, 420000, Российская Федерация, e-mail: gribkovalmi@mail.ru

Даутбеков Мерхат Курметович, докторант, специальность «Теплоэнергетика», Восточно-Казахстанский технический университет,

имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: merkhatd@gmail.com

Джусупова Эльмира Маратовна, магистр естественных наук, ст. преподаватель, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: mika_28@mail.ru

Долгов Максим Викторович, докторант, специальность «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Дюсенгазина Назым Нигметоллаевна, магистр естественных наук, ст. преподаватель, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru

Дюсова Ризагуль Муслимовна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: riza92@bk.ru

Ергеш Манас, магистр, ст. преподаватель, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Shymkent90@mail.ru

Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна, ассоц. профессор, кафедра «Электротехники и автоматизации», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ultuara@mail.ru

Жумагулов Михаил Григорьевич, кандидат технических наук, и.о. профессор, PhD, доцент, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

Жуматаев Нурлыбек Шакаевич, докторант, кафедра «Электроэнергетика», Торайгыров университет, главный энергетик Завода по производству технического кремния ТОО «ANSA Silicon», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zhumataev_04@mail.ru

Журерова Лайла Гылыммедденовна, PhD, старший научный сотрудник, Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: leila_uka@mail.ru

Жусип Талгат Сембекулы, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Механика и машинооборудование», Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: zhusip@mail.ru

Исабеков Даурен Джамбулович, постдокторант, PhD, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Исабеков Жанат Бейсембайевич, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru

Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет Computer science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru

Исакова Гульнур Оралбаевна, кандидат педагогических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: is_gul_oral@mail.ru

Исенов Султанбек Сансызбаевич, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, декан Энергетического факультета, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail : isenov_sultan@mail.ru

Искакова Кульпаш Амановна, доцент, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050012, Республика Казахстан, e-mail: k.iskakova@aues.kz

Испулов Нурлыбек Айдаргалиевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail : nurlybek_79@mail.ru

Калтаев Абдулла Габдылманапулы, PhD, ассоц. профессор (доцент), Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: abdulla911@mail.ru

Касымова Акмарал Хамзиевна, кандидат педагогических наук, и.о. профессора, Западно-Казахстанский Казахский агротехнический университет имени Жангир хана, г. Уральск, 090009, Республика Казахстан, e-mail: kasimova_ah@mail.ru

Кисабекова Асемгуль Агибаевна, PhD, ассоц. профессор, Высшая школа естествознания, Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: akisabekova@mail.ru

Кислов Александр Петрович, кандидат технических наук, профессор, декан Факультета электроэнергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: kislovpsu@mail.ru

Клецель Марк Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

Колесников Евгений Николаевич, постдокторант, PhD, кафедра «Электротехника и автоматизация», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: jeka89_pvl@mail.ru

Красников Алексей Сергеевич, PhD, научный сотрудник, Институт физики, Тартуский университет, г. Тарту, 50090, Эстония, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee

Кучербаев Мурат Сарсембаевич, докторант, специальность «Теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: m.kucherbayev@yandex.kz

Қасым Руслан Тоқтасынұлы, магистр, сениор-лектор, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

Любецкая Марина Александровна, ст. преподаватель, магистр, кафедра «Электротехника и автоматизация», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

Марковский Вадим Павлович, кандидат технических наук, ассоц. профессор (доцент), зав. кафедрой, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: wadim54@mail.ru

Машрапов Бауыржан Ерболович, PhD, постдокторант, Торайгыров университет, Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Мехтиев Али Джаванширович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Эксплуатации электрооборудования», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: barton.kz@mail.ru

Митрофанов Андрей Васильевич, доктор технических наук, доцент, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: and2mit@mail.ru

Мукушев Мейр Абзалович, магистрант, специальность «Информационные системы», Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: potatothekartoshka@gmail.com

Мусагажинов Мадияр Жалелович, докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: musagazhinov@bk.ru

Мусекенова Гаухар Отегеновна, магистр, ст. преподаватель, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: orazova.g@teachers.tou.edu.kz

Мустафина Раиса Мухаметжаровна, кандидат технических наук, доцент, профессор, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; e-mail : mustafina.r@teachers.tou.edu.kz

Муталова Жазира Сатковна, магистр технических наук, ст. преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, 090009, Республика Казахстан, e-mail: zhazira77@mail.ru

Никифоров Александр Степанович, доктор технических наук, профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aleke4599@mail.ru

Новожилов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: 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

Ногай Адольф Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 000011, Республика Казахстан, e-mail: nogay06@mail.ru

Ногай Артур Адольфович, PhD, ст. преподаватель Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 000011, Республика Казахстан, e-mail: artur.n00@mail.ru

Ногай Элеонора Адольфовна, мл. науч. сотрудник, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 000011, Республика Казахстан, e-mail: linora90-00@mail.ru

Нурмадиева Эльмира Амиржановна, ст. преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: e.nurmadieva@aues.kz

Онгар Булбул, PhD, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

Орынбаев Сейтжан Ауесжанович, PhD, директор Департамента науки и коммерциализации, ассоц. профессор, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: seitzhan_74@mail.ru

Оспанова Жулдуз Джумагалиевна, магистр естественных наук, ст. преподаватель, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail : zhulduz-ospan@mail.ru

Оспанова Назира Нұрғазиевна кандидат педагогических наук, доцент, профессор, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: nazira_n@mail.ru

Рахадилов Бауыржан Корабаевич, PhD, ассоц. профессор, директор, ТОО «Plasmascience», г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: rakhadilovb@gmail.com

Рахимбердинова Дилара Муратовна, PhD, постдокторант, кафедра «Электротехника и автоматизация», Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Di_lara83@mail.ru

Рибейро Луис Фролён, доктор технических наук, профессор, кафедра «Механических технологий», Политехнический институт Брагансы, г. Браганса, 5300, Республика Португалия, e-mail: frolen@ipb.pt

Сарсенбаев Ерлан Алиаскарович, PhD, ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: y.sarsenbayev@satbayev.university

Сеитбек Ерлан Ержанұлы, магистрант, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: e.seyitbek@alt.edu.kz

Сериков Тансауле Габдыманапович, PhD, ассоц профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Смагулова Гулдана Кашкинбаевна, ст. преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: gu.smagulova@aues.kz

Соболева Людмила Андреевна, магистр, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: mluda777@mail.ru

Степанова Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Технической физики и теплоэнергетики», Университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, 071412, Республика Казахстан, e-mail: noreply@semgu.kz

Сулейменова Рая Зиннадиновна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Suleimenova_raya@mail.ru

Султанова Марал Жанатовна, магистр технических наук, преподаватель, Факультет Computer Science, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: s.m.zh@mail.ru

Сыдыкова Гульнар Кудайбергеновна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Инженерно-технологический институт, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, 020000, Республика Казахстан, e-mail: sydykova77@mail.ru

Талипов Олжас Манарбекович, PhD, профессор, зав. кафедрой «Электротехника и автоматизация», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: talipov1980@mail.ru

Талипов Сергей Николаевич, ст. преподаватель, Факультет Computer Sciences, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: talipovsn@gmail.com

Таткеева Галина Галимзяновна, доктор технических наук, зав. кафедрой «Электроснабжение», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: g.tatkeyeva@kazatu.edu.kz

Токмолдаев Аманжол Бектурсынович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Энергосбережение и автоматика», Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: tokmoldaev_a@mail..ru

Толегенова Арай Сарсенгалиевна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: balgyn.bek.2018@gmail.com

Тулегулов Амандос, кандидат физико-математических наук, ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Tud62@yandex.ru

Турсын Махмуд Мадиулы, кафедра «Электротехника и автоматизация» Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Makhmudd99@gmail.com

Уразалимова Дария Сансызбаевна, магистр, ст. преподаватель, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: urazalimova.d @teachers.tou.edu.kz

Ускенбаев Данияр Есенкулович, PhD, ассоц. профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 000011, Республика Казахстан, e-mail: usdan@mail.ru

Федорова Марина Леонидовна, магистр, ст. преподаватель, Центр языковой подготовки, Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: andreyfed31@mail.ru

Хамитов Мирас Сержанович, магистрант, специальность «Промышленная теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: chamitov@inbox.kz

Цыба Юрий Александрович, кандидат технических наук, профессор, кафедра ЭМЭП, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: tsyba.46@mail.ru

Чныбаева Данна Максутхановна, ст. преподаватель, кафедра ЭМЭП, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: danna_shyn@mail.ru; d.chnybaeva@aues.kz

Шерьязов Сакен Койшыбаевич, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, 454000, Российская Федерация, e-mail: sakenu@yandex.ru

Ярославцев Михаил Викторович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: myaroslav54@ gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abdlakhatova Nazym Shokhadlyaevna, doctoral student, Educational Program «Energy Supply of Agriculture», Engineering and Technical Faculty, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abdlakhatova@list.ru

Abdullina Gulnara Gosmanovna, Candidate of Chemical Sciences, associate professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulnara_1277@mail.ru

Abdygalikova Gulnar Akhmadievna, Candidate of Pedagogical Sciences, senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g.abdygalikova@kazatu.kz

Ahmedyanova Galiya Kazbekovna, Master of Science, senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: galiya_erlan@mail.ru

Aigozhina Dinara Gabdulgazizovna, Master of Engineering Science, lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: dina7041976@mail.ru

Akaev Aybek Muratbekovich, PhD, Dean of the School of Nuclear and Traditional Energy Technologies, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Akanova Akerke Saparovna, PhD, senior lecturer, Faculty of Computer Systems and Vocational Training, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Akhmetbayev Dauren Sadykovich, Doctor of Technical Sciences, acting professor, Department of Power Supply, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: d.akhmetbayev@kazatu.edu.kz

Akishev Karshyga, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru

Alpyssova Gulnur, PhD, associate professor, Faculty of Physics and Technology, Karaganda Buketov University, Karaganda, 100026, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulnur-0909@mail.ru

Amankul Talgat, Master, senior lecturer, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Amankul. T@mail.ru

Amirkhan Meiirzhan Nurbekuly, undergraduate student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, 050062, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.amirkhan@aues.kz

Anarbayev Alibek Yersainovich, senior lecturer, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic Kazakhstan, e-mail: alibek_anarbaev@mail.ru

Andreyeva Oksana Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Electrical Engineering and Automation, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: andreyeva.oa @mail.ru

Asainov Gibrat Zholamanovich, PhD, senior lecturer, Department of Power Supply, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 007giba@mail.ru

Azamatov Murat Toktarbekovich, Master, senior lecturer, Department of Electrical Engineering and Automation, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Baizharikova Marina, associate professor, M. H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: marina.2288 @mail.ru

Baltin Alisher doctoral student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: baltin2016@mail.ru

Barukin Alexsandr Sergeevich, PhD, associate professor, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Baubek Askar Aposhevich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Faculty of Transport and Energy, Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: baubek.as@mail.ru

Bedych Tatyana Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Energy and Mechanical Engineering, Kostanay Engineering and Economic University named after M. Dulatov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tbedych@mail.ru

Bizhanov Nurlan Ualikhanovych, Master, doctoral student in «Electric power industry», Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurlanbizhanov105@gmail.com

Bobrov Vladimir Yakovlevich, General Director, Kazenergokabel JSC, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 953557@mail.ru

Bolatbekov Askhat, master student, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gsspkazakhstan@gmail.com

Bondartsev David Yu. PhD, associate professor of AUPET, Institute of Thermal Power Engineering and Control Systems, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: d.bondartsev@aues.kz

Chnybayeva Danna Maksutkanovna, senior lecturer, Department of EMED, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named

after G. Daukeyev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, email: danna_shyn@mail.ru; d.chnybaeva@aues.kz

Dautbekov Merkhat Kurmetovich, doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: merkhatd@gmail.com

Djussupova Elmira Maratovna, Master of Natural Sciences, senior lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: mika_28@mail.ru

Dolgov Maxim Viktorovich, doctoral student, Faculty of Transport and Energy, Heat Power Engineering, Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Dyusengazina Nazym Nigmetollaevna, Master of Natural Sciences, senior lecturer, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru

Dyussova Rizagul Muslimovna, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: riza92@bk.ru

Fyodorova Marina Leonidovna, Master, senior lecturer, Language Training Center, Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: andreyfed31@mail.ru

Genbach Alexander A., Doctor of Technical Sciences, professor of AUPET, Institute of Thermal Power Engineering and Control Systems, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.genbach@aues.kz

Genbach Natalia A., associate professor of AUPET, Institute of Electrical Stations and Electric Power Systems, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.genbach@aues.kz

Glazyrin Sergey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Faculty of Transport and Energy, Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Gluchshenko Tatiana Ivanovna, Candidate of Economic Sciences, associate professor, Department of Electric Power Engineering, Engineering and Technical Institute, Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tatyana194@inbox.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

Gribkov Alexander Michailovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Kazan State Energy University, Kazan, 420000, Russian Federation, e-mail: gribkovalmi@mail.ru

Iskakova Kulpash Amanovna, associate professor (docent), Almaty university of power engineering and telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, 050012, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.iskakova@aues.kz

Ispulov Nurlybek Aidargalievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurlybek_79@mail.ru

Issabekov Dauren Dzhambulovich, Postdoctoral, fellow PhD, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Issabekov Zhanat Beisembayevich, PhD, associate professor, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: 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

Issakova Gulnur, Candidate of Pedagogical Sciences, senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: is_gul_oral@mail.ru

Issenov Sultanbek Sansyzbaevich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Dean of Energy Faculty, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Kaltayev Abdulla Gabdylmanapuly, associate professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abdulla911@mail.ru

Kassym Ruslan Toktasynuly, Master, senior lecturer, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

Kasymova Akmaral, Candidate of Pedagogical Sciences, acting professor, Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian-technical University, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan, e-mail: kasimova_ah@mail.ru

Khamitov Miras Serzhanovich, undergraduate student in Industrial Heat Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: chamitov@inbox.kz

Kislov Alexander, Candidate of Technical Sciences, professor, Dean of the Faculty of Electrical Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kislovpsu@mail.ru

Kissabekova Assemgul, PhD, associate professor, Higher School of Natural Science, Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: akisabekova@mail.ru

Kletsel Mark Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

Kolesnikov Yevgeniy Nikolayevich, PhD in «Electric Power Engineering», postdoctoral, Department of Electrical Engineering and Automation, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: jeka89_pvl@mail.ru

Krasnikov Aleksei, PhD, Researcher, Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, 50090, Estonia, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee

Kucherbayev Murat Sarsembayevich, doctoral student in Heat Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.kucherbayev@yandex.kz

Lyubetskaya Marina Alexandrovna Master, senior lecturer, Department of Electrical Engineering and Automation, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Markovskiy Vadim Pavlovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: wadim54@mail.ru

Mashrapov Bauyrzhan Erbolovich, PhD, postdoctoral student, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Mehtiyev Ali Javanshirovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of «Operation of Electrical Equipment», S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: barton.kz@mail.ru

Mitrofanov Andrey Vasil'evich, Visiting Professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: and2mit@mail.ru

Mukushev Meir Abzalovich, undergraduate student in «Information Systems», Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: potatothekartoshka@gmail.com

Musagazhinov Madiyar Zhalelovich, doctoral student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: musagazhinov@bk.ru

Mussekenova Gaukhar Otegenovna, Master, senior lecturer, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan; e-mail: orazova.g@teachers.tou.edu.kz

Mustafina Raisa Mukhametzharovna, Candidate of Technical Sciences, docent, professor, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: mustafina.r@teachers.tou.edu.kz

Mutalova Zhazira, Master of Technical Sciences, senior lecturer, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhazira77@mail.ru

Nikiforov Alexander Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Heat Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aleke4599@mail.ru

Nogai Adolf Sergeevich, Doctor of Physics And Mathematics, professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 000011, Kazakhstan Republics, e-mail: nogay06@mail.ru

Nogai Artur Adolfovich, PhD, senior teacher, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 000011, Republic of Kazakhstan, e-mail: artur.n00@mail.ru

Nogai Eleonora Adolfovna, Jr. scientific employee, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 000011, Republic of Kazakhstan, e-mail: linora90-00@mail.ru

Novozhilov Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Electric Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Novozhilov Timofey Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Omsk State Technical University, Omsk, 644000, Russian Federation, e-mail: timokvey@mail.ru

Nurmadieva Elmira Amirzhanovna, senior lecturer, Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: e.nurmadieva@aues.kz

Ospanova Zhulduz Dzhumagalievna, Master of Natural Sciences, senior lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhulduz-ospan@mail.ru

Ongar Bulbul, PhD, associate professor, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, 050013 Republic of Kazakhstan, e-mail: b.ongar@satbayev.university

Orynbayev Seitzhan Aueszhanovich, PhD, associate professor, director of Science and Commercialization Department, Taraz Regional University named after M. Kh. Dulati, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: seitzhan_74@mail.ru

Ospanova Nazira Nurgazievna, Candidate of Pedagogical sciences, associate professor, professor, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazira_n@mail.ru

Rakhadilov Bauyrzhan Korabaevich, PhD, associate professor, Director of Plasmascience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: rakhadilovb@gmail.com

Rakhimberdinova Dilara Muratovna, PhD in «Electric Power Engineering», postdoctoral student, Department of Electrical Engineering and Automation, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Di_lara83@mail.ru

Ribeiro Luis Frolën, professor, Department of Mechanical Technologies, Polytechnic Institute of Braganza, Braganca, 5300, Republic of Portugal, e-mail: frolen@ipb.pt

Sarsenbaev Yerlan Aliaskarovich, PhD, associate professor, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: y.sarsenbayev@satbayev.university

Seitbek Yerlan Yerzhanuly, undergraduate student, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: e.seyitbek@alt.edu.kz

Serikov Tansaule Gabdymanapovich, PhD, associate professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Sheryazov Saken Koishybaevich, Doctor of Technical Sciences, professor, South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, 454000, Russian Federation, e-mail: sakenu@yandex.ru

Smagulova Guldana Kashkinbaevna, senior lecturer, Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: gu.smagulova@aues.kz

Soboleva Liudmila Andreyevna, Master, senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mluda777@mail.ru

Stepanova Olga, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Applied Physics and Heat Power Engineering, Shakarim University of Semey, Semey, 071412, Republic of Kazakhstan, e-mail: noreply@semgu.kz

Suleimenova Raya, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Suleimenova_raya@mail.ru

Sultanova Maral Zhanatovna, Master of Technical Sciences, lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: s.m.zh@mail.ru

Sydykova Gulnar, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Institute of Engineering and technology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sydykova77@mail.ru

Talipov Olzhas Manarbekovich, PhD, professor, head of the Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: talipov1980@mail.ru

Talipov Sergey Nikolaevich, senior lecturer, Faculty of Computer Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: talipovsn@gmail.com

Tatkeyeva Galina, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department Power Supply, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g.tatkeyeva@kazatu.edu.kz

Tokmoldaev Amanzhol Bektursynovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Energy Saving and Automation, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tokmoldaev_a@mail.ru

Tolegenova Arai Sarsengalievna, Candidate of Technical Sciences, senior teacher, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: balgyn.bek.2018@gmail.com

Tsyba Yuri Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, professor, Department of EMED, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tsyba.46@mail.ru

Tulegulov Amandos, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Tud62@yandex.ru

Tursyn Makhmud Madiuly, Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic Of Kazakhstan, e-mail: Makhmudd99@gmail.com

Urazlimova Darya Sansyzbaevna, Master, senior lecturer, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: urazalimova.d @teachers.tou.edu.kz

Uskenbaev Daniyar Yesenkulovich, PhD, associate professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, 000011, Republic of Kazakhstan, e-mail: usdan@mail.ru

Volgin Mikhail, professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: volgin_m@mail.ru

Volgina Yekaterina, associate professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: volgina.em@mail.ru

Yaroslavtsev Mikhail Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, associated professor, Faculty of Energetics, Torayghyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: myaroslav54@ gmail.com

Yergesh Manas, Master, senior lecturer, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Shymkent90@mail.ru

Zhalmagambetova Ultuar Kairbulatovna, associate professor, Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ultuara@mail.ru

Zhumagulov Mikhail Grigorievich, Candidate of Technical Sciences, acting professor, PhD, associate professor, Faculty of Transport and Energy, Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

Zhumataev Nurlybek Shakaevich, doctoral student, Department of Electric Power Engineering, Toraighyrov University, Chief Power Engineer of the plant for the production of technical silicon LLP «ANSA Silicon», Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhumataev_04@mail.ru

Zhurerova Laila Galymmedenovna, Senior Researcher, PhD, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: leila_uka@mail.ru

Zhusip Talgat Sembekovich, Candidate of Technical Sciences, Department of Mechanics and Machine Equipment, Taraz Regional University named after M. Kh. Dulati, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhusip@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 70 %.**

***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 состовляет 20 000 (двадцать тысяч) 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 рецензензирование 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц** печатного текста. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) *см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество (полностью)** автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках *(жирным шрифтом, по центру),* **главного автора пометить символом (*);**

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность *(не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий);*

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках *(рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец);*

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования *(оформляются*

на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

10 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / 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 подрисуночные надписи к ним** представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

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

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайгыров 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 рецензензирование 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. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,
НАО «Торайгыров университет»,
Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.
Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).
E-mai1: **kereku@tou.edu.kz**

Наши реквизиты:

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров 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 HSBKKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxx

***С. К. Антикеева**
Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.

2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.

3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.

4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.

6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

REFERENCES

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effectivnost 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 к ecologicheskomu obrazovaniu i vospitaniu (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). – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKиPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov к 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 құзыреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель

әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeyeva
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайгыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ «ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА», «КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегий 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 20.06.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2023 ж. қол қойылды.
Электрондық баспа
17,5 Mb RAM
Шартты баспа табағы 22,67. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова
Тапсырыс № 4103

Сдано в набор 20.06 2023 г. Подписано в печать 30.06 2023 г.
Электронное издание
17,5 Mb RAM
Усл. печ. л. 22,67. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова
Заказ № 4103

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
8 (7182) 67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-energy.tou.edu.kz